Sumario

1. INTRODUÇÃO: ..... 3
1.1. Histórico: ..... 3
1.2. Definições: ..... 4
1.2.1. Manutenção: ..... 4
1.2.2. Falha: ..... 4
1.3. Objectivos: ..... 11
2. CONCEITOS ATUAIS DE MANUTENÇÃO: Introdução a algumas técnicas de manutenção condicionada. ..... 13
2.1. TPM. (Total Productive Maintenance): ..... 14
1) Gestão da Qualidade Total ..... 15
2) 5S ..... 15
3) Kaizen ..... 15
4) Just in Time ..... 15
5) ISO 9000 ..... 15
2.2. RCM (Reliability Centered Maintenance): ..... 16
2.3. RBM (Reliability Based Maintenance): ..... 19
3. ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO: Modelos matemáticos de apoio à gestão da manutenção, caracterização das instalações e gestão de peças-de-reserva. ..... 21
3.1. Condições Básicas: ..... 21
a) Formação de arquivo de catálogos: ..... 21
b) Formação de arquivo de desenhos e manuais: ..... 21
c) Treinamento para o pessoal de manutenção: ..... 21
d) Serviços de escritório técnico de manutenção: ..... 21
3.2. Manutenção Centralizada: ..... 23
3.2.1. Instalações Centralizadas: ..... 23
3.2.2. Administração de Manutenção Centralizada: ..... 24
3.3. Manutenção Descentralizada: ..... 25
3.3.1. Instalações Descentralizadas: ..... 25
3.3.2. Administração de Manutenção Descentralizada: ..... 26
3.4. Sistema Misto ou Parcialmente Descentralizado: ..... 27
3.4.1. Instalações Mistas: ..... 27
3.4.2. Administração do Sistema Misto: ..... 28
3.5. Manutenção na Hierarquia da Empresa: ..... 28
1) Subordinação ao Órgão de Produção: ..... 28
2) Subordinação ao Órgão de Engenharia: ..... 29
3) Subordinação à Direcção Industrial: ..... 29
3.6. Gerência da Manutenção na Empresa: ..... 29
1) Requisitos do Homem de Manutenção: ..... 29
2) Requisitos do Gerente de Manutenção:, ..... 30
3) Requisitos da Equipe de Manutenção: ..... 30
3.7. Planejamento e Programação da Manutenção: ..... 30
3.7.1. Fundamentos do Planejamento da Manutenção: ..... 31
3.7.2. Registros: ..... 33
3.7.3. Programação dos Trabalhos: ..... 33
3.7.4. Realimentação: ..... 34
3.7.5. Programação de Grandes Reparos: ..... 34
3.7.6. Sistema PERT-CPM: ..... 35
4. MÉTODOS E GESTÃO DE MANUTENÇÃO: ..... 44
4.1. Manutenção correctiva: ..... 44
4.2. Manutenção Preventiva: ..... 44

4.3. Manutenção Preditiva:.....44
4.4. Manutenção Produtiva (Proativa): .....45
5. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO: ..... 46
5.1. Introdução: .....46
5.2. Análise de Vibração: .....47
5.2.1. Fundamentos da Análise de Vibração:.....47
5.2.2. Procedimentos para a Medida e Análise de Vibrações: .....51
5.2.3. Alinhamento e Balanceamento de Máquinas:.....57
5.3. Análise de Óleo: .....64
5.3.1. Finalidade da Lubrificação:.....65
5.3.2. Fundamentos da Análise do Óleo Lubrificante:.....65
5.3.3. Tipos de Análise de Lubrificantes:.....66
5.3.4. Mini Laboratórios para Análise do Lubrificante:.....72
5.4. Termografia – Análise da Temperatura: .....73
5.4.1. Conceito de Temperatura: .....73
5.4.2. Aplicações da Medição da Temperatura na Manutenção: .....73
5.4.3. Técnicas para a Medição da Temperatura:.....74
5.5. Ensaios Não Destrutivos – END: .....78
5.5.1. Aplicações e Requisitos dos END's:.....78
5.5.2. Principais END's:.....79
5.6. Análise de Motores Eléctricos: .....85
5.6.1. Temperatura: .....86
5.6.2. Análise da Corrente do Motor:.....86
5.6.3. Análise de Fluxo: .....86
5.6.4. Descarga Elétrica pelo Eixo: .....87
5.7. Análise de Tensões:.....88
6. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO:..... 91
6.1. Análise de Falha e Solução de Problemas:.....92
6.1.1. Causas da Falha das Máquinas:.....94
6.1.2. Causa Original da Falha: .....95
6.1.3. Conceitos Básicos de Análise do Modo e Efeito da Falha:.....97
7. BIBLIOGRAFIA..... 105

# 1. INTRODUÇÃO:

## 1.1. Histórico:

No decorrer da evolução da humanidade a manutenção apresentou diversas fases distintas, de acordo com o grau de desenvolvimento tecnológico e da influência das máquinas e equipamentos na economia das nações.

As fases de evolução podem ser divididas conforme descrição a seguir:

**1ª Fase**: Pré Revolução Industrial – Século XVIII: Nesta fase não existia equipes dedicadas à actividade de manutenção. **O próprio operador, que na maioria das vezes era o dono da máquina, também era o responsável pela sua construção e manutenção**. A participação das máquinas na economia era relativamente pequena, portanto a parada não causava grandes problemas. Além disso, a complexidade das máquinas existentes era muito pequena, tornando o reparo relativamente simples.

**2ª Fase**: Primeiras Equipes – Século XIX: Nesta época surgem as grandes invenções que revolucionaram a vida da humanidade: **electricidade, máquinas a vapor e motores**. A complexidade das máquinas começa a aumentar, exigindo conhecimentos especiais para a operação e consertos. Os equipamentos começam a influenciar a vida das pessoas exigindo maior agilidade no reparo. Para garantir o funcionamento começa a surgir à **necessidade de pessoal especializado e a disponibilidade de recursos para execução da manutenção das máquinas**.

**3ª Fase**: Correctiva – 1900 a 1920: A primeira guerra mundial demonstra a **grande influência das máquinas no poder das nações**. Com a necessidade de produção em grande escala são construídas as **primeiras grandes indústrias**. A parada da máquina necessita um reparo rápido para garantir o nível de produção. **Dentro das indústrias são constituídas as equipes de manutenção correctiva.**

**4ª Fase**: Preventiva – 1920 a 1950: A segunda guerra mundial impulsiona a indústria aeronáutica, que torna um factor decisivo para o conflito. **Os aviões são máquinas que praticamente não admitem defeitos, surgindo o conceito de prevenção na manutenção**. Nesta época surge a electrónica e o primeiro computador. Alguns instrumentos começam a ser incorporados às máquinas auxiliando na operação e programação da manutenção.

**5ª Fase**: Racionalização – 1950 a 1970: **A crise do petróleo**, matéria-prima fundamental para os processos industriais, **gera grande impacto nos custos de produção**. As indústrias já representam a principal actividade económica, sendo o principal factor de classificação das nações. Os custos de manutenção precisam ser racionalizados. **As indústrias começam a utilizar a Engenharia de Manutenção, que promove o desenvolvimento das primeiras técnicas aplicadas ao monitoramento das condições dos equipamentos**. O conserto e a prevenção não são suficientes, a actuação da manutenção deve ser feita com economia.

**6ª Fase**: Produtiva Total – 1970 até hoje: A globalização aumenta a concorrência entre as indústrias. Novas técnicas de controlo de qualidade geram produtos de elevado desempenho. As empresas que não acompanham o desenvolvimento tecnológico não conseguem sobreviver. **A manutenção torna-se uma importante ferramenta para a melhoria da produtividade, através da análise da causa de falha dos equipamentos**. As indústrias japonesas e americanas conseguem

Destaque na produtividade, utilizando ferramentas administrativas que integram a produção com a manutenção melhorando a qualidade dos produtos e reduzindo os custos de manutenção.

**1.2. Definições:**

A seguir são apresentados os termos mais comuns aplicados durante o desenvolvimento dos estudos deste curso:

### *1.2.1. Manutenção:*

A manutenção conforme a ABNT, corresponde a todas as acções necessárias para que um item seja conservado ou restaurado, de modo a permanecer de acordo com uma condição especificada.

Na prática a manutenção é a **conservação técnica económica do activo fixo da empresa**.

### *1.2.2. Falha:*

**A Falha corresponde à perda da função de um equipamento**. A condição de funcionamento de um equipamento pode ter critérios diferenciados. Por exemplo, na actualidade a agressão ao meio ambiente pode impedir o funcionamento de um equipamento, sendo uma condição de falha.

***Diagnóstico de Falha:***

O Diagnóstico da Falha consiste na identificação do mecanismo que provocou a falha do equipamento. **A identificação da causa da falha é fundamental para a garantia de desempenho.** Actualmente existem diversas técnicas que podem auxiliar na análise da falha de uma máquina. Estas técnicas de manutenção envolvem desde o conhecimento básico dos equipamentos até a utilização de instrumentos sofisticados.

***Confiabilidade:***

Confiabilidade é a probabilidade de que um equipamento, célula de produção, planta ou qualquer sistema funcionar normalmente em condições de projecto, por um determinado período de tempo estabelecido A curva da banheira, exemplificada na figura 1, representa o modelo tradicional da relação entre o tempo e a taxa de falha de um equipamento ou parte dele. As taxas de falhas ($\lambda_i$), que representam o número de falhas ($N_i$) num determinado período de tempo ($T$), se comportam de maneira diferente no decorrer da vida do equipamento. Basicamente há três períodos distintos:

$$\lambda_i = \frac{N_i}{T}$$

- **Período da Falha Prematura**: É caracterizado pelas elevadas taxas de falhas no início da utilização. **Normalmente estas falhas são resultantes de deficiências de projecto, fabricação, erros de operação e outras causas.** Algumas vezes é possível reduzir estes tipos de falha através da utilização de testes planejados antes da liberação final do equipamento.

- **Período da Taxa de Falha Constante**: Neste período as **falhas resultam de limitações inerentes de projecto mais os acidentes causados por operação ou manutenção inadequadas**. Estas falhas podem ser evitadas pela actuação correcta da operação e manutenção dos equipamentos.

- **Período do Desgaste Acelerado**: Estas falhas ocorrem em função da própria idade dos componentes do equipamento. A Taxa de Falha aumenta progressivamente, colocando em risco a segurança e a produção. Os custos crescentes de manutenção e as perdas de produção podem definir o fim da vida útil. Com a velocidade da evolução da tecnologia o equipamento pode tornar-se obsoleto.

Existem três leis estatísticas que são utilizadas para a previsão da Confiabilidade "ajustando"os fenómenos de aparição de falhas. **A lei "normal" de Gauss, a lei exponencial e a lei de Weibull.**

A Confiabilidade, definida em função da **Taxa de Falha** $\lambda$, pode ser obtida na expressão da lei exponencial da seguinte forma:

$$C_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

Sendo:
t = intervalo de tempo considerado.
e = logaritmo neperiano (2,718).

Para esta expressão a Taxa de Falha de cada componente é constante.
**O Tempo Médio Entre Falhas (TMEF)** é definido por:

$$TMEF = \int_0^{\infty} C_{(t)} dt$$

Para os demais modelos estatísticos recomendam consultar o livro **"A Função Manutenção"** de François Monchy.

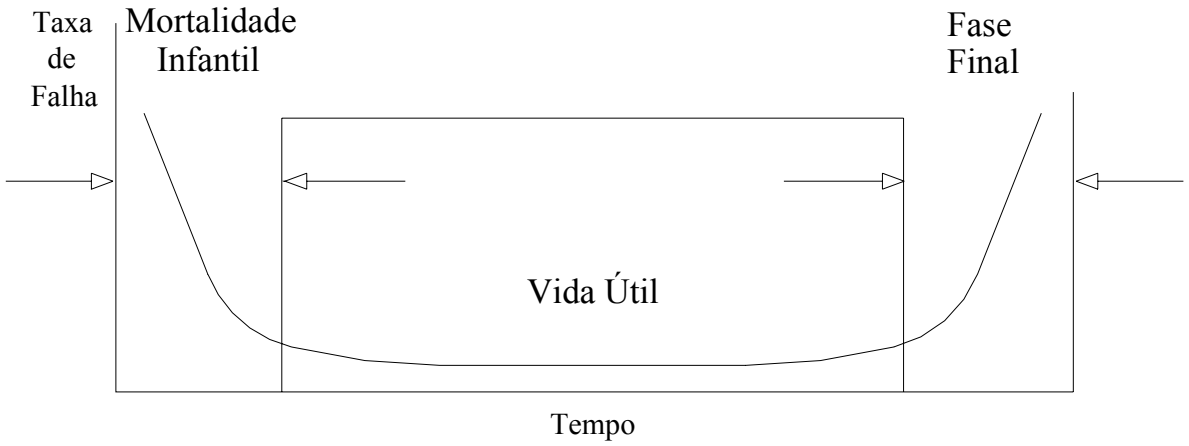



Figura 1: Curva da Banheira

A Confiabilidade de uma instalação é influenciada pela taxa de falha individual dos componentes e pela configuração utilizada. Estas configurações podem associar os componentes em série, em paralelo ou com reserva (stand by).

A seguir é apresentado um exemplo para cada situação de associação dos equipamentos, considerando a lei exponencial.

**Exemplo 1. Associação em Série**:

Duas bombas diferentes são necessárias para o funcionamento de um sistema para o fluxo da produção. As bombas têm taxas de falha $\lambda_1 = 0{,}0001$ falhas/hora e $\lambda_2 = 0{,}0002$ falhas/hora.

Calcular a Confiabilidade do sistema para 100 horas de operação e o TMEF.

**Solução:**

1. Confiabilidade em Série $C_s(t)$:

$$C_s(t) = \prod_{i=1}^{n} \left( e^{-\lambda_i t} \right)$$

$$C_s(t) = e^{-(0{,}0001 + 0{,}0002) \times 100}$$

$$C_s(t) = 0{,}97045$$

2. Cálculo do TMEF:

$$TMEF = \frac{1}{0{,}0001 + 0{,}0002}$$

$$TMEF = 3333{,}3 \text{ horas}$$

**Exemplo 2: Associação em Paralelo $C_p(t)$:**

Dois motores eléctricos estão operando em uma configuração redundante, ou seja, em paralelo. Se um dos motores falhar o motor remanescente pode manter a instalação com a carga total. Considerando que os motores são idênticos, com taxas de falhas constantes e as falhas dos motores são estatisticamente independentes. Para os motores iniciando operação no tempo "t = 0", determinar: Confiabilidade do sistema para $\lambda = 0{,}0005$ falhas/hora e t = 400 horas (tempo de operação).

**Solução:**

1. Cálculo da Confiabilidade para t = 400 horas.

$$C_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left( 1 - e^{-\lambda_i t} \right)$$

$$C_p(t) = 1 - \left[\left(1 - e^{-0,0005 \times 400}\right) \times \left(1 - e^{-0,0005 \times 400}\right)\right]$$

$$C_p(t) = 0,9671$$

2. Cálculo do TMEF:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \times \sum_{i=1}^{2} \frac{1}{i}$$

$$TMEF = \frac{1}{0,0005} \times \frac{3}{2}$$

$$TMEF = 3000 \text{ horas}$$

**Exemplo 3: Associação com Stand By:**

Considerar uma instalação com três unidades idênticas onde uma esta operando e as outras duas estão em standby. Determinar a Confiabilidade do sistema para 400 horas de operação, sabendo-se que a taxa de falhas das unidades é igual a 0,003 falhas/hora e o TMEF.

**Solução:**

1. Cálculo da Confiabilidade para t = 400 horas.

$$C_{st}(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i \times e^{-\lambda t}}{i!}$$

$$C_{st}(t) = e^{-0,003 \times 400} + 0,003 \times 400 \times e^{-0,003 \times 400} + \frac{(0,003 \times 400)^2 \times e^{-0,003 \times 400}}{2}$$

$$C_{st}(t) = 0,8795$$

2. Cálculo do TMEF.

$$TMEF = \int_0^{\infty} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i \times e^{-\lambda t}}{i!}\right] \times dt$$

$$TMEF = \frac{3}{0{,}003}$$

$$TMEF = 1000 \text{ horas}$$

Para maiores detalhes sobre as configurações descritas acima devem ser consultadas as referências do curso.

### *1.2.2.3. Manutenibilidade:*

Manutenibilidade é a probabilidade de se realizar um reparo de uma falha dentro de um prazo pré-estabelecido, tomando-se como base o histórico de outros reparos. Porém, para este índice ser calculado deve-se ter um tempo para reparo constante ao longo do tempo. O cálculo deste índice sofre a influência de diversos factores que alteram o tempo de reparo ao longo da vida do equipamento. Os principais são:

- O escopo de trabalho de um reparo difere de outros anteriores;
- Nem sempre o tempo que a equipe de manutenção foi impedida de trabalhar em toda a fase de reparo do equipamento é apropriada com rigor. Estes problemas podem ser causados por falta de materiais ou alterações de programação.
- As pessoas envolvidas são alteradas de um reparo para outro, podendo ser alterada também a quantidade.

**A Manutenibilidade é definida em função do Tempo Médio Para Reparos (TMPR)**, sendo obtida na equação:

$$M_{(t)} = 1 - e^{-\mu \cdot t}$$

$$\mu = \frac{1}{TMPR}$$

Sendo:
t = tempo considerado na análise.
e = logaritmo neperiano (2,718).
μ = Taxa de Reparo

### *1.2.2.4. Disponibilidade:*

A Disponibilidade representa o tempo em que um equipamento está disponível para o trabalho. O tempo disponível é composto pelo período efectivamente em uso e pelo tempo em que o equipamento esta em condições operacionais porém não esta em um uso em função de outros factores ou quando esta em reserva **(stand by).**

O estágio não operacional é o somatório do tempo gasto em actividades de reparo **(diagnóstico ou conserto)** ou esperando sobressalentes, procedimentos, etc.

$$D_{(t)} = \frac{t}{T}$$

Sendo:

t = tempo operacional no período de tempo considerado

T = tempo total considerado

### *1.2.2.5 Prioridade:*

A Prioridade corresponde à escolha da sequências das actividades de manutenção. A utilização dos recursos dentro de uma prioridade correcta garante a eficácia da manutenção.

Para encontrar a Prioridade para as actividades de manutenção podem ser utilizadas algumas ferramentas simples como a **"Curva ABC" ou o "Diagrama de Pareto"**.

O Diagrama de Pareto é utilizado na representação das falhas de um equipamento ou instalação, sendo formado por um gráfico de barras combinado com um gráfico de uma curva que representa o valor acumulativo. Os dados são classificados conforme um critério definido previamente. As barras representam os dados lado a lado conforme valor decrescente, e a curva apresenta o valor acumulado.

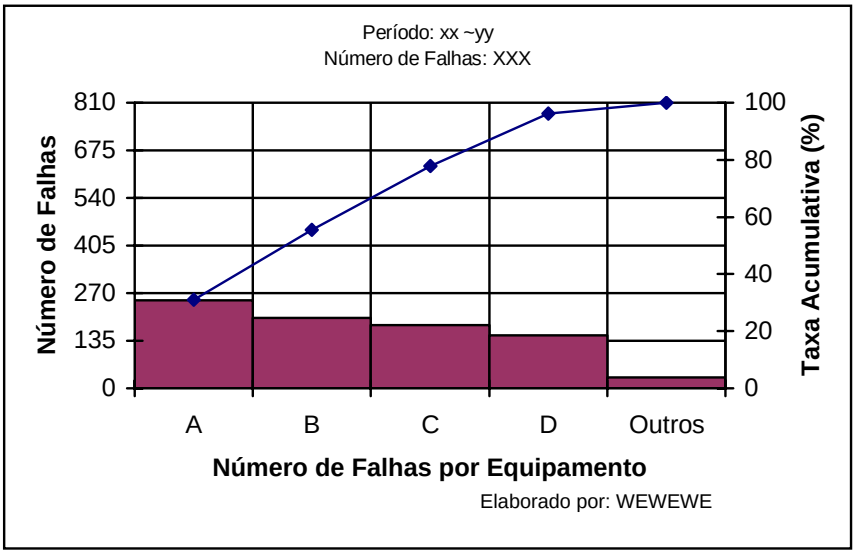
A construção de um Diagrama de Pareto deve seguir os seguintes passos:

1. **Estabelecer o critério de classificação , e colectar os dados;**
2. **Agrupar os dados em ordem de tamanho;**
3. **Calcular o valor acumulado;**
4. **Escreva os dados do eixo horizontal e vertical.**

O comprimento do eixo horizontal deve ser aproximadamente o mesmo do eixo vertical, de tal forma que o diagrama seja quadrado. Os parâmetros normalmente colocados no eixo vertical são: número de defeitos, duração da falha, número de falhas, quantidade de reclamações, tempo de trabalho, quantidade de perdas, tempo de reparo, etc...

| Nome do Equipamento | Número de Falhas | Número Acumulado |
|---|---|---|
| Equipamento "A" | 250 | 250 |
| Equipamento "B" | 200 | 450 |
| Equipamento "C" | 180 | 630 |
| Equipamento "D" | 150 | 780 |
| Outros | 30 | 810 |
| Total | 810 | 810 |

5. **Construa o gráfico de barras;**
6. **Desenhe a curva dos valores acumulados;**
7. **Estabeleça as unidades dos eixos.**




8. **Finalmente entre com as informações necessárias: título, período, número total de dados e nome da pessoa que preparou o diagrama.**

### *1.2.2.5. Indicadores de Desempenho:*

Os indicadores de desempenho são parâmetros utilizados para avaliar a eficiência dos trabalhos de manutenção. Os índices mais utilizados são: **TMPR, TMEF e a Disponibilidade.**

Existem ainda os Indicadores de Custos, que avaliam os custos direitos e indirectos da manutenção. Normalmente os Indicadores de Custo relacionam o custo de manutenção com o faturamento total da empresa ou com a unidade de produção (Ex. toneladas de produção).

### *1.2.2.6. T erceirização:*

O processo de terceirização de uma empresa consiste na contratação de serviços que não fazem parte da sua actividade principal. Esta tendência iniciou na década de 80 e ampliou cada vez mais nas grandes empresas. A Manutenção é um dos sectores industriais que apresenta elevado grau de terceirização. **O principal objectivo da terceirização é a criação de empresas especialistas com capacidade de reduzir os custos finais da produção.**

### *1.2.2.7. Análise de Risco:*

A complexidade das tarefas das equipes de manutenção exige uma avaliação completa do potencial de risco envolvido. A análise de risco envolve o conhecimento de todos os factores que afectam a segurança das actividades de manutenção para um determinado serviço e as medidas necessárias para evitar acidentes.

### *1.2.2.8. Melhoria Contínua do Meio Ambiente:*

A degradação do meio ambiente é uma preocupação crescente no mundo actual. As actividades de manutenção podem interferir directa ou indirectamente no processo de contaminação ambiental. A manutenção deve controlar o processo de descarte de produtos contaminantes (óleos,

graxas, baterias, resíduos químicos, etc) e garantir que o equipamento opere nos padrões recomendáveis de poluição (controle de vazamentos, níveis de ruído, regulagem de filtros, etc).

**Actualmente as empresas são submetidas a processos de certificações para garantir a sua permanência nos mercados mais competitivos**. As actividades de manutenção são fundamentais na obtenção das metas relativas à protecção do meio ambiente.

### 1.3. Objectivos:

A evolução tecnológica crescente dos equipamentos de produção exige profissionais com elevada capacitação para actuar na manutenção das indústrias. **A autuação da manutenção assume uma amplitude cada vez maior, tendo influência directa na qualidade, capacidade de produção e evolução tecnológica das empresas.**

No estágio actual de desenvolvimento, factores como meio ambiente e segurança começam a adquirir importância crescente. O esgotamento dos recursos naturais, níveis de poluição e a qualidade de vida, exigem investimentos elevados pois a maioria dos processos industriais não foram concebidos com esta preocupação.

**O objectivo deste curso é a formação de um profissional com conhecimento técnico, capaz de promover a melhoria da qualidade dos serviços, aumento da Confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos, com segurança, menor custo e melhoria contínua do meio ambiente.**

A figura 2 apresenta os estágios de vida de um equipamento. Na fase de projecto deve-se preocupar com a Confiabilidade que irá influenciar o custo inicial, desempenho e custo operacional. Durante a fabricação a manutenibilidade deve ser analisada, pois neste ponto começam a ser reveladas a natureza multidisciplinar da maioria dos problemas de manutenção. A partida não é apenas um período de teste do equipamento, esta fase pode revelar as deficiências de projecto e fabricação. A fase de operação da máquina permite o conhecimento das suas verdadeiras características, revelando importantes informações para o desenvolvimento do equipamento. A análise de substituição da máquina deve considerar os diversos factores que influenciam o custo operacional e a possibilidade de modernização da instalação com ganhos de produtividade através de novos equipamentos.

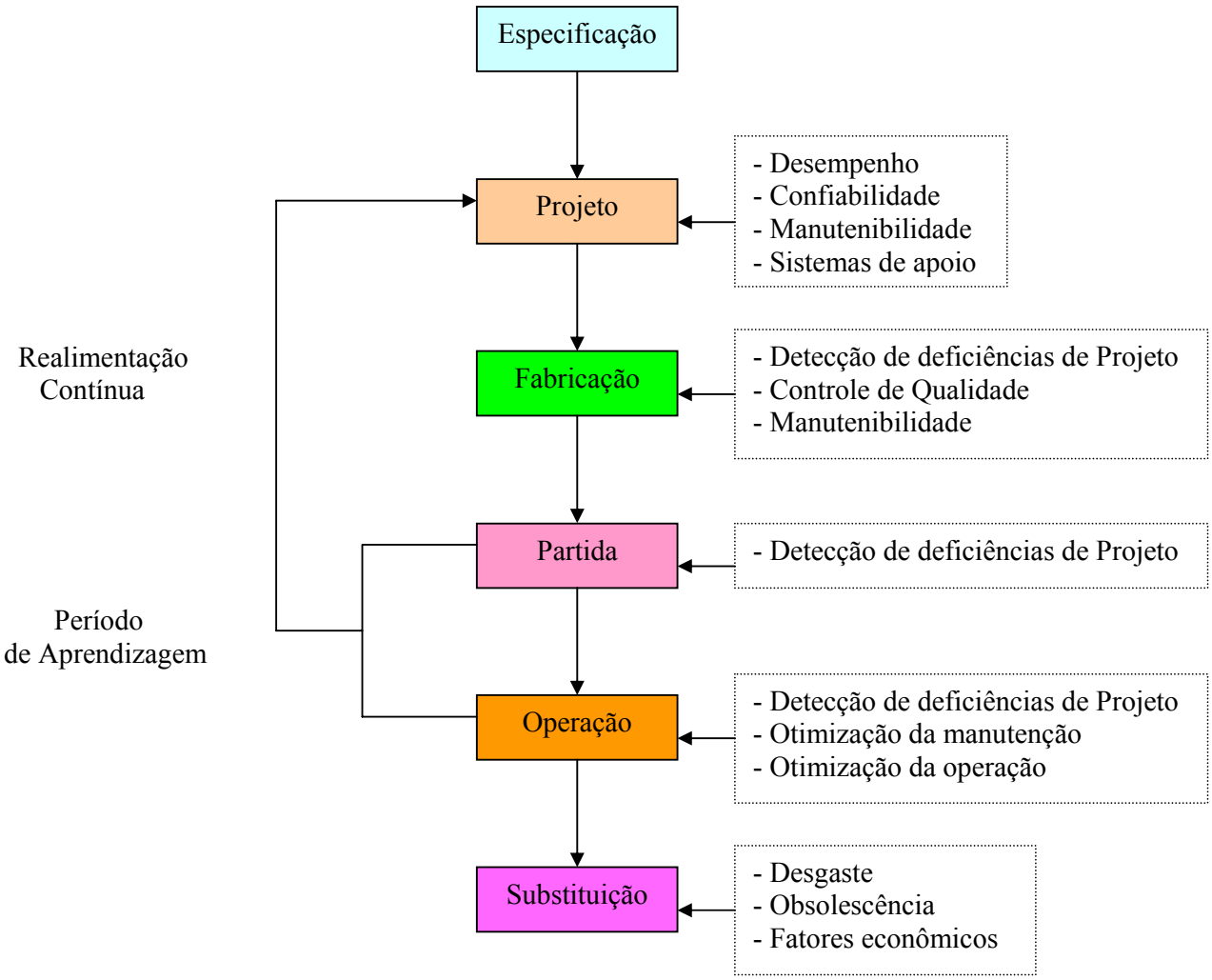



Figura 2: Estágios da Vida Útil de um Equipamento

## 2. CONCEITOS ATUAIS DE MANUTENÇÃO: Introdução a algumas técnicas de manutenção condicionada.

No início da década de 90 a produtividade industrial dos Estados Unidos crescia a uma taxa anual de 6,1 %, superando os índices da maioria das nações industrializadas.

Como era possível a produtividade de determinados países industrializados superar outros com posição semelhante no contexto económico? Nestes casos, o mercado interno de determinados países estava limitado para oferecer o aumento de oportunidades, sendo o acesso aos mercados estrangeiros essencial para o desenvolvimento. As nações com recursos reduzidos de matéria-prima se beneficiam com a obtenção destes materiais de países com recursos naturais abundantes. Desde o fim da Segunda Guerra Mundial, muitas regiões iniciaram a formação de mercados comuns, facilitando o intercâmbio comercial. Esta reorganização estrutural do mercado permitiu o desenvolvimento e as nações industrializadas tiveram vantagens com a disponibilidade de emprego e educação, obtenção de matérias-primas e transporte de bens e serviços.

**Um outro factor que influenciou na produtividade foi à introdução das novas tecnologias. No ano de 1820 um fazendeiro americano conseguia produzir o suficiente para alimentar a si próprio e mais três pessoas, que consistia o tamanho da típica família americana. Actualmente o fazendeiro americano é capaz de alimentar a si próprio e mais 40 ou 50 pessoas.** Novos fertilizantes e métodos de cultivo, a invenção das colheitadeiras, o desenvolvimento em biotecnologia proporcionou um grande incremento na produtividade agrícola. Estes factores permitiram o deslocamento de grande parte da população das zonas rurais para as cidades, aumentando a disponibilidade de mão de obra para as indústrias.

A produtividade permitiu grandes avanços em outros sectores industriais. **Na década de 80 a garantia típica para um carro novo era de "três anos ou 30 mil milhas" no mercado americano**. O mercado americano sofre intensa competição com os países estrangeiros. Após a implementação de inúmeros programas de qualidade, na década de 90 o carro americano dobrou as condições de garantia, atingindo para alguns modelos a garantia de **"sete anos ou 70 mil milhas"**. **O TQM (Total Quality Management) e o TQC (Total Quality Control)**, representam os programas de qualidade que tiveram grande impacto nas indústrias dos países desenvolvidos.

Durante este período a manutenção industrial passou a receber atenção especial, tornando-se uma grande oportunidade para o aumento da produtividade industrial. O investimento em alta tecnologia possibilitou o desenvolvimento de equipamentos com elevada Confiabilidade, permitindo a eliminação das redundâncias sem sacrificar a disponibilidade. A estimativa para o sector industrial americano é de uma possibilidade de economia de $ 200 biliões/ano com a manutenção dos equipamentos.

A identificação de oportunidades de redução de custos e melhoria da qualidade de produto, mostraram a necessidade de maior atenção para as actividades de manutenção. Para alcançar os novos objectivos foram necessárias reestruturações da função manutenção e o investimento em tecnologias preditivas e técnicas proativas.

**A manutenção da empresa moderna tem como finalidade garantir a sua capacidade de produção e competitividade.** A simples mudança de nomes para os departamentos não garante os resultados. A implantação da reestruturação deve alterar as regras de trabalho, através de uma organização dinâmica, que garanta um processo contínuo de evolução.

A introdução das novas estratégias de organização começou a ser empregadas nos anos recentes. A **"Total Productive Maintenance" (TPM), "Reliability Centered Maintenance" (RCM)** e mais recentemente a **"Reliability Based Maintenance" (RBM)**, passaram a ser utilizadas com grandes perspectivas de retorno para as empresas. Porém, as resistências impostas pelos métodos tradicionais podem retardar o processo de mudanças.

A seguir são apresentadas as principais características destas novas estratégias, que estão presentes nas estruturas da manutenção das empresas modernas, com diferentes graus de intensidade e diferentes aspectos de utilização.

## 2.1. TPM. (Total Productive Maintenance):

O **TPM** consiste em um procedimento de administração da manutenção que teve início por volta dos anos 50 e apresentou resultados expressivos na economia Japonesa na década de 70. A grande ascensão do Japão no cenário mundial, tornando-se a **segunda potência económica**, chamou a atenção dos outros países, sendo atribuído ao **TPM** uma parcela ao sucesso económico Japonês.

Os cinco pilares do **TPM**, descritos por um de seus pioneiros **(Seiichi Nakajima)**, são:

1. **Maximização da Eficiência dos Equipamentos**
2. **Envolvimento dos Operadores nas tarefas diárias da Manutenção**
3. **Implementação da eficiência da Manutenção**
4. **Treinamento permanente para melhora do desempenho**
5. **Fortalecimento da prevenção**

Os componentes principais do **TPM** estabelecem um *envolvimento dos operadores dos equipamentos nas actividades de rotina e remove as fronteiras entre manutenção e operação com objectivo de atingir o aumento de disponibilidade*. Com estas novas medidas é **possível alcançar a falha zero e a quebra zero dos equipamentos, factores que permitem uma perda zero de produção ao lado do defeito zero do produto**.

Evidentemente para alcançar os benefícios do **TPM** são necessárias mudanças na estrutura organizacional das empresas e na mentalidade das pessoas. As características principais destas mudanças são:

- A manutenção deve estar presente em todo o ciclo de vida útil dos equipamentos;
- Deve existir uma participação conjunta da Engenharia, Produção e Manutenção;
- Todos os níveis hierárquicos da empresa devem actuar no processo;
- Devem ser tomadas medidas motivacionais para incentivar a participação de todos.

Com a implantação do **TPM** o significado da Manutenção passa a ser o de **manter** e **conservar** o ritmo das melhorias, mudanças e transformações.

Para alcançar os objectivos do **TPM** as empresas devem utilizar outras ferramentas administrativas que dependerão do estágio de evolução das empresas. Os principais elementos associados à implantação de **TPM** são:

***1) Gestão da Qualidade Total***: **TQC e TQM**: Processo que estabelece a **"satisfação do cliente"**, actuando directamente no produto da empresa.

***2) 5S***: **Seiri (Utilização), Seiton (Ordenação), Seiso (Limpeza), Seiketsu (Asseio) e Shitsuke (Disciplina)**. O 5S deve ser utilizado por empresas que têm problemas de ordem, limpeza, organização, desperdícios e meio ambiente. Esta técnica é fundamental para a preparação na implantação do TPM.

***3) Kaizen***: **Melhoria contínua.** Através desta metodologia é possível actuar directamente no processo produtivo da empresa e não apenas no produto.

***4) Just in Time***: **O cumprimento dos prazos com a racionalização de recursos e atendimento das condições de qualidade do produto** representa o conceito de Just in Time que esta directamente relacionado com o TPM.

***5) ISO 9000***: **A International Standardization Organization** criou a série 9000 de normas que são aceitas em diversos países para estabelecer a certificação da qualidade das empresas. **A certificação das empresas pela ISO 9000 permite um grande avanço no gerenciamento da qualidade que criam facilidades para a implantação do TPM.**

O quadro a seguir apresenta os principais itens de controlo que fazem parte do processo e implantação do TPM e serve para avaliar os benefícios alcançados com a implementação do programa.

| Factor | Item de Controlo |
|---|---|
| Qualidade | Redução de defeitos |
| | Redução de produtos fora de especificação |
| | Redução do número de reclamações internas e externas |
| | Redução da taxa de rejeito |
| | Redução dos custos das medidas de correcção de defeitos |
| | Redução do retrabalho |
| Produtividade | Aumento do volume de produção por operadores |
| | Aumento do volume de produção por equipamento |
| | Aumento da disponibilidade do equipamento |
| | Aumento do TMEF |
| | Diminuição do TMPR |
| | Redução das paradas em emergência |
| Custo | Redução do custo de energia |
| | Redução do custo de manutenção ao longo do tempo |
| | Redução das horas trabalhadas de manutenção |
| | Simplificação do processo |
| | Redução do volume estocado |
| Atendimento | Redução dos atrasos |
| | Redução do estoque final |
| | Redução do estoque em processo |

| | |
|---|---|
| | Redução do prazo de entrega |
| | Redução do estoque de sobressalentes |
| | Aumento da rotactividade dos estoques |
| Moral | Aumento do número de sugestões de melhorias |
| | Aumento do número de lições de um ponto |
| | Redução do absenteísmo |
| | Redução/eliminação dos acidentes de trabalho |
| Segurança e Meio Ambiente | Zero Acidentes |
| | Zero Poluição |
| | Redução do número de paradas por acidentes |
| | Eliminação de incidentes |

## 2.2. RCM (Reliability Centered Maintenance):

Factores como o **desgaste, corrosão, fadiga, fenómenos físico-químicos e acidentes**, que ocorrem nas partes ou componentes de qualquer equipamento alteram as suas condições normais. Esses fenómenos e eventos que ocorrem durante o uso podem degradar essas condições o suficiente para que os componentes e equipamentos não mais apresentem o desempenho requerido atingindo a falha.

A manutenção esta directamente envolvida com o processo de falha do equipamento. ***Para isso a função da manutenção é conhecer e dominar estes processos de falha e saber quando e como intervir para atender as necessidades dos usuários.***

Durante muitos anos a acção da manutenção foi baseada na troca de componentes, evitando assim a quebra em emergência. Essa fase gerou o conceito de que os equipamentos tornam-se menos confiáveis na medida que o tempo de operação, ou idade, aumenta. Assim a grande preocupação da manutenção era conhecer a idade na qual os itens iriam falhar – vida útil – para estabelecer ações de manutenção que se antecipasse à quebra. Este conceito estabelecia que a confiabilidade estava directamente relacionada com o tempo de uso. Neste período o número de modos de falhas eram reduzidos e bem conhecidos.

Esta metodologia foi amplamente utilizada no sector aeronáutico durante muitos anos. Dentro de uma sistemática bastante regulamentada a manutenção de aeronaves obedecia a um rígido calendário de tarefas de inspeção, trocas e revisões.

No início da década de 60, com o aumento da complexidade dos sistemas das aeronaves, os custos desta prática de manutenção levaram as empresas a uma análise crítica desta metodologia. Além disso, a nova geração de aeronaves desta década exigiam padrões de confiabilidade mais elevados, em função do número de passageiros transportados e percursos de vôo.

Após análises de informações obtidas em inúmeros componentes ficou constatado que vários tipos de falhas não eram evitadas mesmo com o aumento da quantidade de manutenção. A evolução tecnológica aumentou significativamente os modos de falhas, o que tornava extremamente difícil eliminar as incertezas do comportamento dos itens.

Os projectistas de aeronaves procuravam não apenas evitar as falhas dos itens era necessário garantir as funções do equipamento, principalmente o que envolvia a segurança de vôo. A protecção das funções essenciais era protegida cada vez mais com o uso de projectos de redundâncias.

O primeiro programa de manutenção desenvolvido com base nos conceitos iniciais da manutenção centrada na confiabilidade foi no Boeing 747, que se mostrou adequado para o alcance dos objectivos; alta confiabilidade operacional e um custo de manutenção adequado ao mercado.

Outros programas foram implementados, sendo em 1978 consagrada a denominação de **Reliability Centered Maintenance – RCM**, consolidando os conceitos desta nova metodologia de manutenção.

O estudo da Probabilidade de **Falha x Tempo** de uso desenvolvido pela United Airlines para todos os tipos de componentes das aeronaves pretendia verificar a influência das frequências de revisões na confiabilidade geral dos seus equipamentos.

O resultado deste trabalho influenciou a adopção de uma nova abordagem dos equipamentos para o planejamento da manutenção. Todos os componentes foram incluídos em seis modelos básicos, que evidencia a existência de dois tipos básicos de relacionamento entre **Taxa de Falha x Idade**. A figura 3 apresenta as curvas obtidas e as respectivas percentagens de participação no total de falhas analisadas para este equipamento.

**Os Tipos A, B e C** correspondem aos componentes que possuem uma elevada influência do tempo de utilização. Os modos predominantes de falhas destes componentes são: **fadiga, corrosão e oxidação**. A percentagem destes componentes é relativamente pequena para o tipo de equipamento analisado.

**Os Tipos D, E e F** não demonstram uma influência do tempo na taxa de falhas. Os modos de falhas são diversificados e o tempo de utilização não evidencia mudança significativa da taxa de falha. **Este tipo de situação ocorre em componentes electrónicos e de sistemas hidráulicos**. No equipamento analisado englobam a grande maioria dos componentes.

Embora esses dados tenham tido origem na observação do comportamento de itens de aeronaves, o nível de automação dos nossos processos e a tecnologia aplicada nos leva a deduzir que cada vez mais esses padrões e seus níveis de ocorrência aconteçam nos demais equipamentos, modificando o conceito tradicional da **"Curva da Banheira"** representada pelos componentes do Tipo A.

A implementação da **RCM** tem como objectivo **alcançar a confiabilidade e a segurança inerentes aos equipamentos**, com o mínimo custo, identificando quais tarefas de manutenção são tecnicamente aplicáveis e adequadas para detectar e evitar, ou mesmo reduzir, a consequência das falhas nas funções do equipamento. Esta metodologia requer o envolvimento das pessoas que dominam o processo em análise e o sucesso depende do cumprimento de passos preliminares, tomando-se como referência os métodos do **TPM.**

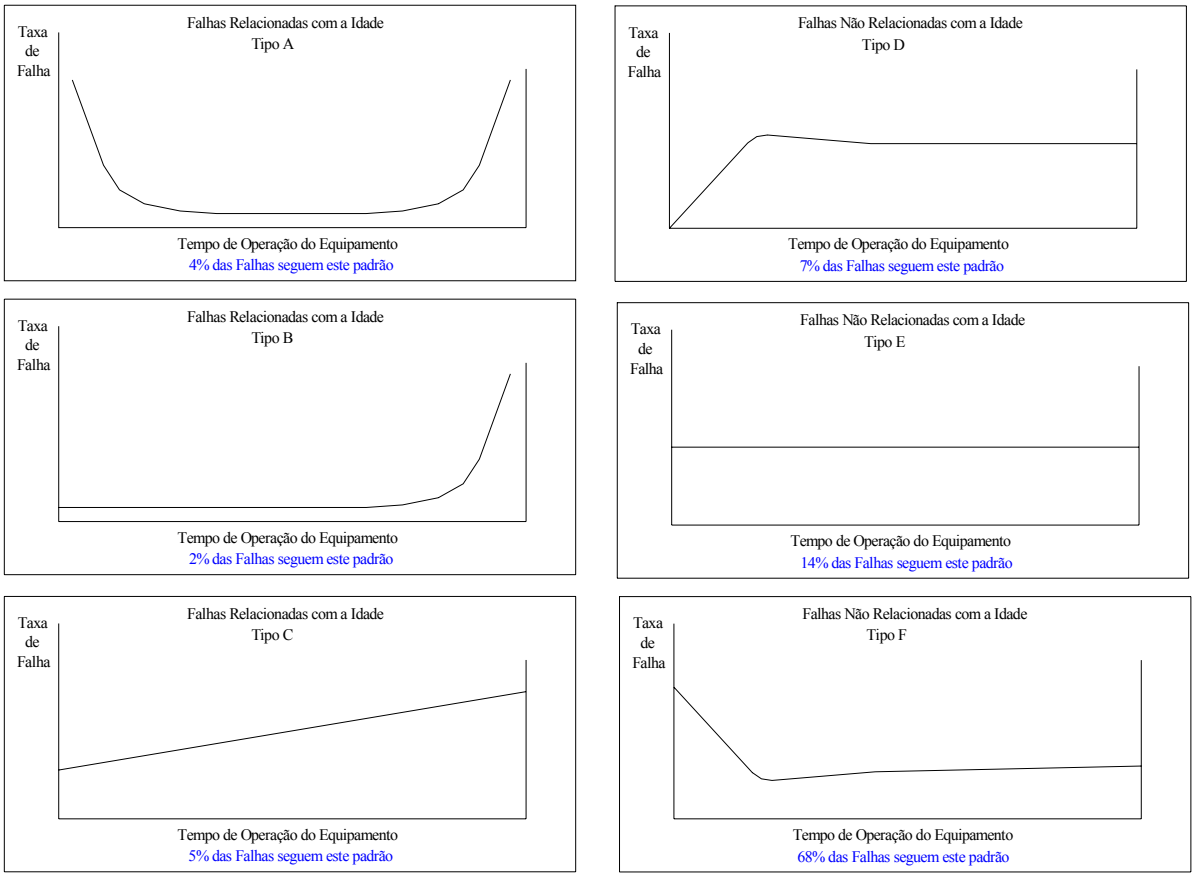

Falhas Relacionadas com a Idade
Tipo A
Taxa de Falha
Tempo de Operação do Equipamento
4% das Falhas seguem este padrão
Falhas Não Relacionadas com a Idade
Tipo D
Taxa de Falha
Tempo de Operação do Equipamento
7% das Falhas seguem este padrão
Falhas Relacionadas com a Idade
Tipo B
Taxa de Falha
Tempo de Operação do Equipamento
2% das Falhas seguem este padrão
Falhas Não Relacionadas com a Idade
Tipo E
Taxa de Falha
Tempo de Operação do Equipamento
14% das Falhas seguem este padrão
Falhas Relacionadas com a Idade
Tipo C
Taxa de Falha
Tempo de Operação do Equipamento
5% das Falhas seguem este padrão
Falhas Não Relacionadas com a Idade
Tipo F
Taxa de Falha
Tempo de Operação do Equipamento
68% das Falhas seguem este padrão

Figura 3: Modelos de Falha x Tempo

A aplicação do **RCM** requer um elevado grau de domínio do processo em análise, a seguir são apresentados alguns factores que devem ser considerados:

- **Selecção do sistema;**
- **Definição das funções e padrões de desempenho;**
- **Determinação das falhas funcionais e de padrões de desempenho;**
- **Análise dos modos e efeitos das falhas;**
- **Histórico de manutenção e revisão da documentação técnica;**
- **Determinação de ações de manutenção – Política, Tarefas, Frequência.**

Para enquadrar qualquer item nesta técnica, recomenda-se a aplicação das sete perguntas a seguir:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional actual?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha operacional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. De que forma cada falha tem importância?
6. O que pode ser feito para prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito, se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada?

Para responder as sete questões básicas deve ser criada uma equipe multidisciplinar, com pessoas da operação, manutenção, inspeção e segurança. Para o desenvolvimento dos trabalhos deve fazer parte do grupo um facilitador que seja **especialista em RCM.**

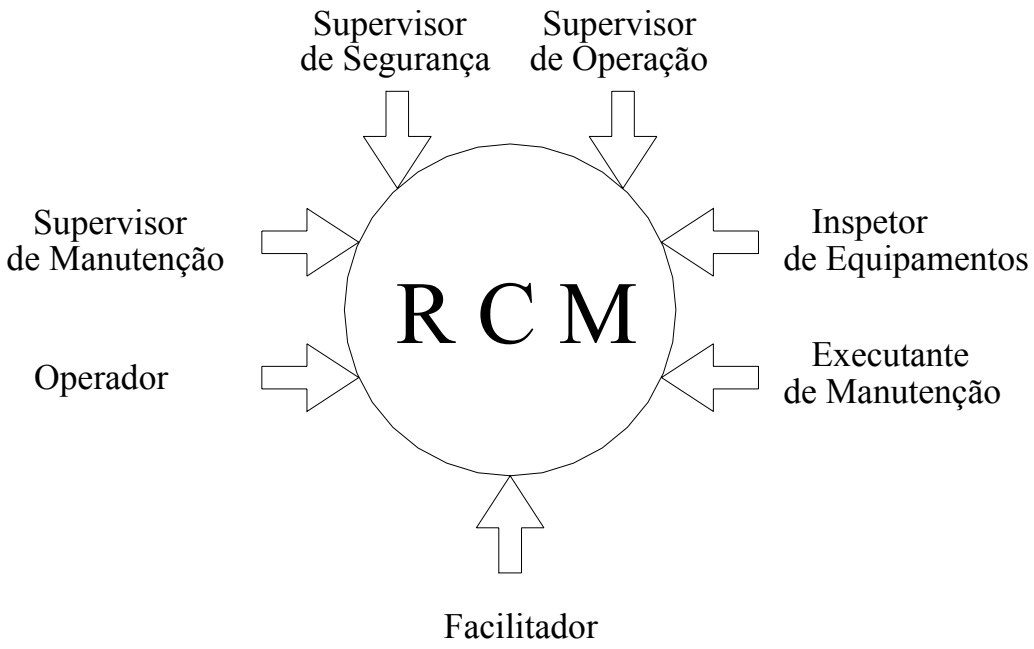



Figura 4: Equipe de Trabalho

Os principais resultados obtidos com a implantação do **RCM** são:

1. Melhoria da compreensão do funcionamento do equipamento ou sistema, proporcionando uma ampliação e conhecimentos aos participantes.
2. Desenvolvimento do trabalho em grupo com reflexos altamente positivos na análise, solução de problemas e estabelecimento de programas de trabalho.
3. Definição de como o item pode falhar e das causas básicas de cada falha, desenvolvendo mecanismos de evitar falhas que possam ocorrer espontaneamente ou causadas por actos das pessoas.
4. Elaboração dos planos para garantir a operação do item em um nível de performance desejado. Esses planos englobam: Planos de Manutenção, Procedimentos Operacionais e Lista de modificações ou melhorias.

Os benefícios do RCM podem ser resumidos na obtenção da maior confiabilidade dos equipamentos, com redução de custos e domínio tecnológico do processo produtivo da empresa.

### 2.3. RBM (Reliability Based Maintenance):

A incorporação de técnicas preditivas aos métodos modernos de manutenção criou a manutenção baseada na condição. Estas técnicas permitem o monitoramento das condições reais do equipamento permitindo a identificação prematura de sintomas que podem levar o equipamento até a falha. Esta identificação torna possível a tomada de decisões que podem evitar a falha ou informar o momento ideal de actuação da manutenção.

Esta técnica deve ser aplicada em combinação com o **TPM** e a **RCM** para atingir os níveis máximos de desempenho **(benchmarking)** dentro do actual estágio de desenvolvimento.

A metodologia preditiva é composta por diversas tecnologias que podem trazer resultados positivos para a manutenção. As tecnicas preditivas mais utilizadas nos serviços de manutenção são:

- **Análise de Vibração**
- **Tribologia e Lubrificação**
- **Temperatura e Termografia**
- **Medição de Vazão**
- **Testes Eléctricos e Análise de Motores Eléctricos**
- **Detecção de Vazamentos**
- **Monitoramento de Corrosão**
- **Monitoramento de Parâmetros de Processo**
- **Análise Visual a outros Sensores.**

## 3. ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO: Modelos matemáticos de apoio à gestão da manutenção, caracterização das instalações e gestão de peças-de-reserva.

### 3.1. Condições Básicas:

O bom funcionamento de qualquer tipo de estrutura adotada para a manutenção de uma empresa depende de **alguns factores básicos** que serão determinantes para a **qualidade e agilidade dos serviços**. Os itens fundamentais para a organização da manutenção são descritos a seguir:

***a) Formação de arquivo de catálogos:*** Uma boa manutenção depende muito de um bom estoque de sobressalentes. A qualidade do material é o principal factor a ser considerado, sendo função da manutenção a actualização das especificações com o mercado de fornecedores. A forma ideal de se conseguir tal intento é através de um arquivo de catálogos bem montado e actualizado. Para isso é preciso estabelecer: tipo de arquivo a ser adotado, tipo de controlo, sistema de contacto com fornecedores e sistema de difusão da informação. Actualmente, a disponibilidade de informações através da Internet vem determinando novos procedimentos para a formação de arquivo de catálogos através do meio electrónico.

***b) Formação de arquivo de desenhos e manuais:*** O arquivo de desenhos dos equipamentos e instalações é muito importante para as actividades de manutenção. Em muitos casos a obtenção de desenhos de detalhes dos equipamentos é difícil, pois se trata muitas vezes da tecnologia do fornecedor que não é vendida com o equipamento. Os factores que devem ser considerados para a formação do Arquivo de Desenhos são: arquivo de originais, arquivo de cópias para o escritório técnico e o arquivo de oficinas. Actualmente, com os processos de digitalização das informações técnicas, a maioria das empresas tem disponíveis os desenhos através de "rede interna", facilitando a transmissão da informação entre os diversos sectores.

***c) Treinamento para o pessoal de manutenção:*** O treinamento para o pessoal de manutenção deve, evidentemente, ser dividido entre os diversos níveis profissionais e em características técnicas. Um treinamento só pode ser eficiente e produtivo quando bem planejado, bem dosado e bem dirigido. O importante na realização do treinamento do pessoal é que sejam atingidos os objectivos certos para as necessidades mais prementes da empresa. Tais objectivos podem ser descritos como: suprir deficiências do mercado de mão-de-obra; especializar pessoal em equipamentos específicos do processo industrial; integrar o homem aos procedimentos da empresa; capacitar funcionários para novas funções; qualificar a mão-de-obra e reduzir as possibilidades de acidentes.

O treinamento para o pessoal da manutenção deve abranger cursos para mão-de-obra especializada e cursos para estagiários, fazendo-os passar por uma fase de recuperação de componentes, acompanhado de um curso técnico a respeito, reformas de equipamentos em oficina, instalações de equipamentos, serviços de prevenção da manutenção, para depois passar a níveis de manutenção preventiva e correctiva de emergência.

***d) Serviços de escritório técnico de manutenção:*** Um escritório técnico de manutenção deverá ser composto de engenharia de manutenção, projectos e arquivos. Em muitos casos, admitiu-se ainda os sectores de planejamento e suprimentos normalmente subordinados à engenharia industrial.

Funções da engenharia de manutenção são:

- Manter a eficiência da manutenção em níveis aceitáveis;
- Analisar a procedência e causa das manifestações que provocam os serviços de manutenção;
- Classificar, padronizar, simplificar e codificar os materiais de manutenção;

- Estudar e planejar reformas, grandes paradas e períodos de preventiva com a operação;

- Estudar e determinar contratação de serviços de terceiros, verificando a viabilidade;
- Analisar a aplicação de novos materiais;
- Recomendar os itens críticos que devem ser mantidos em estoque;
- Assessorar tecnicamente os demais sectores da empresa;
- Indicar os métodos de manutenção a ser aplicados.

Funções da equipe de projectos:
- Supervisionada pela Engenharia de Manutenção;
- Manter a actualização de todos os desenhos mediante solicitação;
- Executar projectos de instalações ou de serviços de prevenção de manutenção;
- Preparar normas e padrões de desenhos e especificações para componentes e equipamentos.

Funções da equipe de arquivos:
- Manter controle e organização de arquivos de desenhos, manuais e catálogos;
- Atender e controlar requisições de cópias, empréstimos de catálogos e manuais;
- Conservar o arquivo de modo geral.

Funções da equipe de planejamento:
- Controlar a documentação de serviços de manutenção vendidos à operação e administração;
- Planejar serviços pendentes, procurando atingir os melhores índices;
- Preparar e distribuir informações de controlo das actividades de manutenção;
- Planejar, programar e coordenar as requisições de serviços para os grupos de manutenção.

Funções da equipe de suprimentos:
- Manter um fluxo de compra eficiente;
- Efectuar controle de estoques, e também os materiais não de estoque;
- Inspeccionar a aplicação de padronização de especificação e utilização;
- Analisar os processos de compra;
- Analisar os pedidos de urgência.

Estabelecidas as condições básicas para o funcionamento da manutenção deve-se estabelecer a melhor forma de organização física e administrativa do departamento de manutenção da empresa. As organizações de manutenção, além do plano hierárquico e funcional, podem ter sua característica organizacional principal determinada em função das necessidades físicas e geográficas da empresa. As empresas de ônibus interestaduais, por exemplo, são obrigadas a dispor de várias oficinas de manutenção em diversos pontos do território nacional. Ainda assim, pode-se esperar que exista uma oficina central para efectuar os grandes serviços e que outras oficinas sejam menores para os pequenos reparos, revisões de rotina e serviços imprevistos. Existem diversos factores que influem e determinam o organograma de um departamento de manutenção, onde cada caso tem vantagens e desvantagens. Da sua correcta avaliação é que pode surgir, para cada caso, uma estrutura mais adequada, permitindo assim que seu gerente possa tirar o máximo de suas instalações, de seu pessoal e de seus recursos. Os factores mais importantes neste aspecto são a disposição física da fábrica – layout, o nível das indisponibilidades e o custo das mesmas.

Quando a carga de trabalho de uma fábrica contiver uma distribuição geográfica muito ampla e uma alta programação de trabalhos de emergência de alto custo, convém descentralizar permanentemente a mão-de-obra. Inversamente, se a carga de trabalho for localizada a centralização das equipes de manutenção contribui para uma melhor utilização dos recursos disponíveis. O

objectivo básico consiste em obter equipes de trabalho de porte e de estrutura tais que tornem mínimo o custo total da mão-de-obra e dos tempos de espera e dos deslocamentos.

**Não existe uma estrutura ideal para a manutenção. Cada situação deve ser adequada às peculiaridades que lhe são próprias tanto do ponto de vista de complexidade dos trabalhos como dos recursos disponíveis.** Qualquer que seja a forma de organização da manutenção os princípios básicos de administração devem ser aplicados para alcançar os resultados planejados, estes princípios são:

- Autoridade: poder de administrar e dar ordens. Contratar, demitir, assumir riscos, etc.
- Responsabilidade: consequência natural da autoridade.
- Alcance do controle: capacidade de supervisionar. O número ideal esta entre 4 e 8 pessoas.
- Cadeia de comando: reduzir o número de níveis hierárquicos.
- Unidade de comando: as divisões claras de autoridades são fundamentais.

### 3.2. Manutenção Centralizada:

#### *3.2.1. Instalações Centralizadas:*

Nesta organização todo o pessoal de manutenção está localizado numa mesma área, normalmente sob a **responsabilidade de um supervisor**. O departamento de manutenção não está ligado a nenhum departamento da fábrica. A maior parte do efectivo do departamento atende a todas as necessidades de manutenção em qualquer área útil fabril. **O planejamento geral da manutenção preventiva e correctiva, os registros de ocorrências, os arquivos e as decisões de compras, dos escritórios às máquinas, ficam sob uma única responsabilidade**.

A capacidade ociosa pode ser perfeitamente controlada, salvo em casos de trabalhos específicos tais como lubrificação, inspeção, revisão, desmontagem e regulagem das máquinas. As utilidades, isto é, electricidade, água, ar comprimido, vapor, etc., em quase todas as áreas da fábrica, podem ser atendidas por uma só equipe. Da oficina centralizada partem todos os mecânicos e electricistas para trabalhar em todo e qualquer ponto da fábrica, retornando para o mesmo local após a conclusão dos serviços. Neste local informam os resultados dos serviços realizados e recebem as novas instruções de programação. As vantagens e desvantagens desta organização são descritas a seguir:

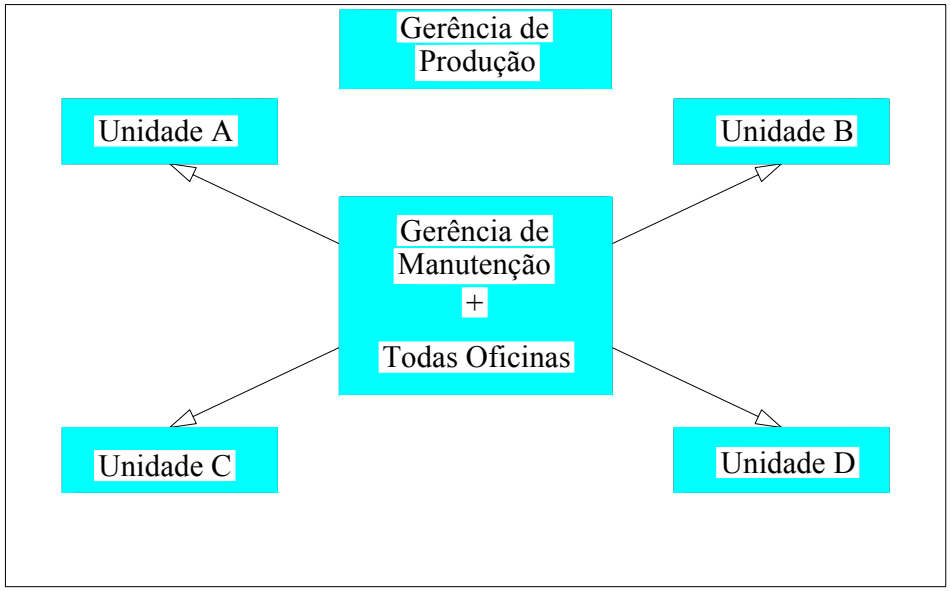



Figura 5: Organização das Instalações na Manutenção Centralizada

**a) Vantagens:**

- Mão-de-obra agrupada por especialidades;
- Maior rapidez às solicitações;
- Melhor visualização para contratar mão-de-obra;
- Facilidade de recrutar mão-de-obra para deslocamentos internos;
- Redução de custos pelo aproveitamento de pessoal;
- Redução da mão-de-obra subcontratada;
- Maior facilidade na aquisição de equipamentos externos;
- Solução de problemas similares em toda fábrica;
- Troca de experiências entre especialistas;
- Maior camaradagem entre equipas;
- Agrupa todas as informações sobre manutenção; fichas, desenhos, registros e suprimentos.

**b) Desvantagens:**

- Tempo perdido nos deslocamentos;
- Baixa eficiência da equipe;
- Tempo gasto nos deslocamentos pode ser excessivo;
- Tempo de resposta pode ser intolerável;
- Supervisão mais difícil;
- Maior quantidade de encarregados e mestres;
- Tempo para familiarizar com toda a fábrica;
- Disponibilidade dos especialistas.

### *3.2.2. Administração de Manutenção Centralizada:*

Normalmente quando se opta por uma instalação de manutenção centralizada, deve-se ter também uma administração centralizada, porém não obrigatoriamente. Este tipo de organização caracteriza-se por ter um grupo de manutenção dotado de sectores específicos – eléctrico, mecânico, civil, etc – independentes e prontas para actuarem nas diversas unidades da fábrica, em função do ocorrido e orientados segundo um sector específico de **PCM – Planejamento e Controle de Manutenção.** Assim a figura a seguir explicita o organograma de uma estrutura administrativa centralizada.

**a) Vantagens:**

- Mesmo esquema táctico, maior facilidade para atingir metas;
- Maior envolvimento do **PCM** com todas as unidades;
- Facilidade de apoio de outras equipes;
- Melhor conhecimento dos problemas comuns às unidades.

**b) Desvantagens:**

- Exige **PCM** bem entrosado para um planejamento eficiente;
- Maior envolvimento do gerente de manutenção;
- Maior integração do gerente com sua equipe.

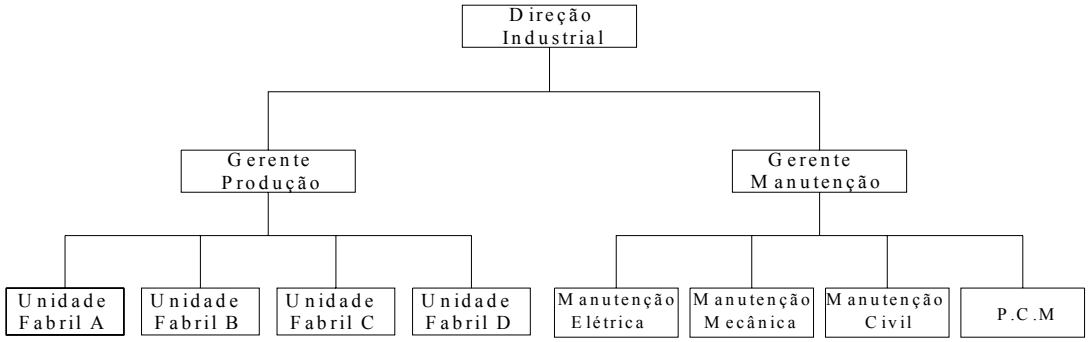



Figura 6: Estrutura Administrativa da Manutenção Centralizada

### 3.3. Manutenção Descentralizada:

#### *3.3.1. Instalações Descentralizadas:*

Os principais objectivos da manutenção descentralizada são a melhora e a maior agilidade no atendimento das unidades de produção, principalmente naquelas que ocupam grandes áreas físicas, ou que tem grande diversidade de equipamentos para os diferentes estágios da produção. Este caso ocorre principalmente nas unidades siderúrgicas. As vantagens e desvantagens deste tipo de organização são descritas a seguir:

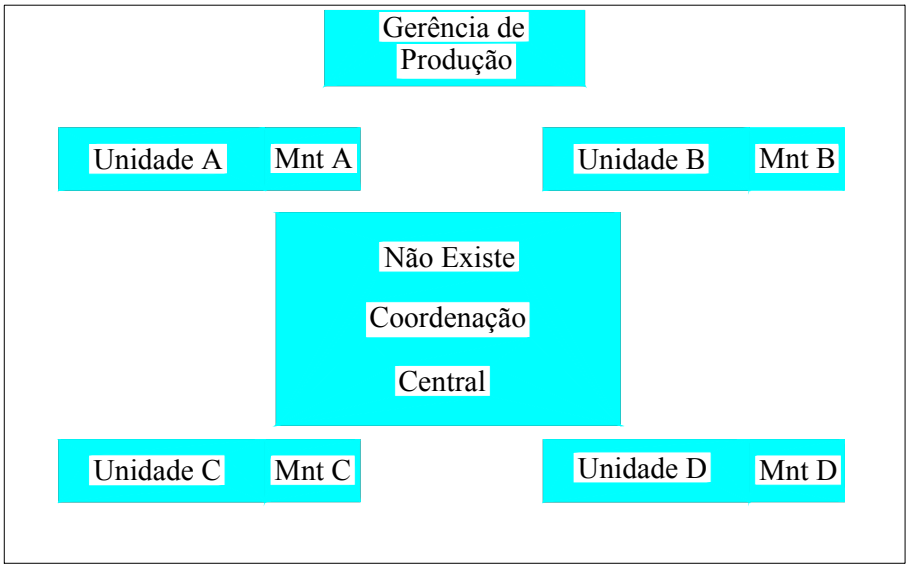



Figura 7: Organização das Instalações na Manutenção Descentralizada

**a) Vantagens:**

- Tempo de deslocamento reduzido;
- Respostas mais rápidas às solicitações;
- Supervisão mais fácil e mais eficiente;

- Maior compreensão dos equipamentos pelas equipes de manutenção;
- Simplicidade na programação dos trabalhos;
- Agilidade dos reparos;
- As mudanças nas linhas de produção são absorvidas mais rapidamente.

**b) Desvantagens:**

- Menor flexibilidade para o atendimento de serviços especiais;
- Tensão entre supervisores: pessoal se deslocando para outras áreas;
- Tendência em superdimensionar a equipe. Maior burocracia com subdivisões hierárquicas;
- Aquisição de equipamentos idênticos para diferentes áreas;
- Dificuldades para contratar especialistas.

### *3.3.2. Administração de Manutenção Descentralizada:*

Neste caso o gerenciamento é exercido por duas ou mais pessoas, colocadas em áreas diferentes, porém com os mesmos níveis hierárquicos, conforme mostra a figura a seguir:

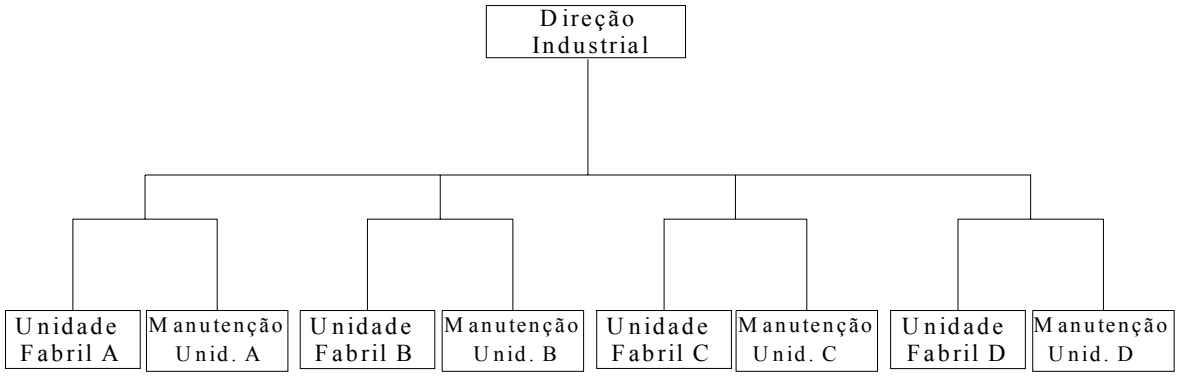



Figura 8: Estrutura Administrativa da Manutenção Descentralizada

**a) Vantagens:**

- Menor área de acção;
- Melhor contacto do gerente com problemas;
- Um PCM para cada área;
- Maior facilidade na preparação de programas.

**b) Desvantagens:**

- Perda da visão de conjunto da manutenção;
-

### 3.4. Sistema Misto ou Parcialmente Descentralizado:

#### *3.4.1. Instalações Mistas:*

Neste caso a fábrica possui várias oficinas de manutenção para realizar serviços de emergência e de maior prioridade e uma oficina central para realizar os serviços mais importantes. Nesta oficina central ficam alojados os recursos mais caros tais como: guindastes, enpilhadeiras, tornos, fresas, retíficas, instrumentos de controle dimensional e outros itens importantes para execução de serviços de manutenção. A oficina de instrumentação normalmente é tolamente centralizada, devido os recursos necessários e a maior racionalização.

As funções básicas da oficina central são:

- Actuar como reserva de mão de obra para as equipes das áreas;
- Executar os principais trabalhos de desmontagem e recondicionamento;
- Actuar como base de apoio para serviços centralizados, tais como: equipes de utilidades, equipes de lubrificação, equipes de manutenção preventiva e equipes de inspeção.
- Planejar e coordenar o trabalho de manutenção contratado externamente.

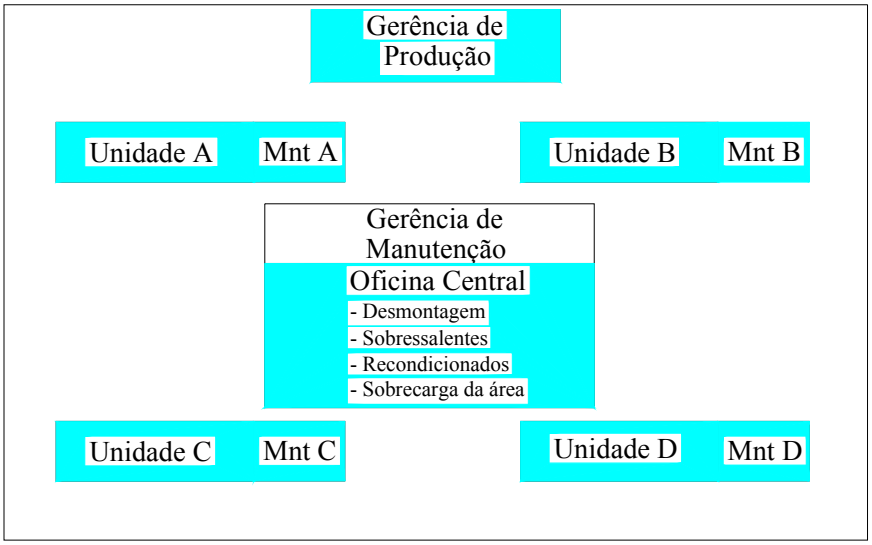



Figura 9: Organização das Instalações na Manutenção Mista

**a) Vantagens:**

- Combinam as vantagens das instalações centralizadas e descentralizadas, proporcionando um atendimento adequado à unidade fabril;
- Permite uma melhor adaptação dos recursos de acordo com as necessidades específicas de cada empresa.

**b) Desvantagens:**

- Podem combinar as desvantagens de sistemas centralizados e descentralizados, necessitando um gerenciamento adequado para optimizar o uso deste sistema.

### *3.4.2. Administração do Sistema Misto:*

Este sistema supõe que a empresa tenha diversas unidades fabris divididas de acordo com sua tarefa e sua manutenção específica, cujo organograma segue a estrutura de produção. Normalmente é utilizado onde as instalações são descentralizadas, mas se deseja uma só linha de conduta em toda a manutenção. Esta organização é a mais recomendada para as grandes instalações fabris, com unidades diversificadas na linha de produção.

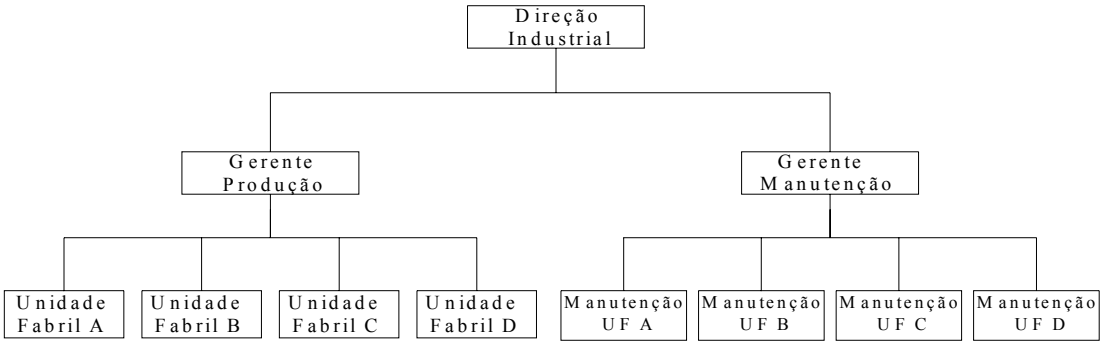



Figura 10: Estrutura Administrativa da Manutenção Mista

### 3.5. Manutenção na Hierarquia da Empresa:

Existem diversas formas de subordinação da manutenção dentro da empresa, principalmente em decorrência do processo de evolução das actividades industriais. Os tipos de situações encontradas actualmente são:

***1) Subordinação ao Órgão de Produção:*** Esta forma é a mais antiga e a menos usada actualmente. Para muitos autores esta forma de organização traduz a vontade latente do pessoal da produção dominar todas as actividades de apoio de suas unidades.

**a) Vantagens:**

- Existe somente um responsável pelo sucesso ou insucesso de metas de produção. Compete ao gerente de produção definir metas e ciclos de trabalho bem como rotinas de manutenção.

**b) Desvantagens:**

- As metas imediatas de produção podem levar a supervisão a determinar redução nas rotinas de manutenção, com o consequente comprometimento de metas futuras, aumento de quebras e baixos padrões de confiabilidade;
- Os encarregados de produção normalmente não possuem formação adequada para orientar trabalhos de manutenção;
- A médio prazo haverá rotactividade do pessoal mais competente que trabalha na manutenção em busca de melhores posições em outras empresas.

***2) Subordinação ao Órgão de Engenharia:*** Nesta formação os profissionais de manutenção encontram alguma afinidade. Porém, para situações críticas, onde são necessárias soluções imediatas, podem surgir alguns problemas. Os profissionais de manutenção, pela própria natureza de suas actividades, são pessoas práticas e poderão ter problemas com especialistas em projectos que costumam utilizar muito tempo em estudos de detalhes de sua especialidade.

***3) Subordinação à Direcção Industrial:*** Esta é a posição mais aceita actualmente. Os profissionais de manutenção têm a sua frente melhores perspectivas de carreira e melhores níveis hierárquicos. A direcção industrial deverá estabelecer as metas de produção e as directrizes operacionais, ouvindo o seu departamento de produção explicar a capacidade das máquinas, posteriormente deverá consultar a manutenção sobre as condições reais do equipamento. A figura abaixo, ilustra este tipo de subordinação.

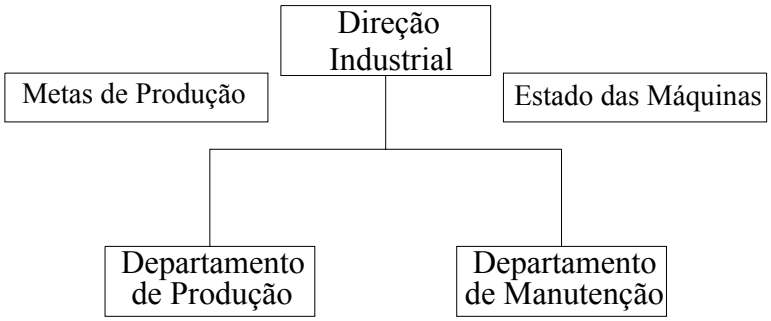



Figura 11: Modelo de Subordinação Hierárquica da Manutenção

**3.6. Gerência da Manutenção na Empresa:**

A Gerência significa a capacidade de dirigir, administrar e governar. A Gerência de Manutenção representa actos, normas e instruções de um sistema de manutenção integrado como um todo, servindo à própria manutenção. A finalidade da gerência de manutenção é definir metas e objectivos para aproveitamento de recursos disponíveis: homens, máquinas e materiais.

Os requisitos exigidos pela gerência de manutenção são: estrutura adequada e equipe específica.

Para a formação de uma estrutura competente de manutenção são necessários os seguintes requisitos de seus profissionais:

***1) Requisitos do Homem de Manutenção:***

- Conhecimento do equipamento (Treinamento);
- Conhecimento detalhado das limitações do equipamento (Capacidade);
- Conhecimento dos diversos métodos de manutenção;
- Conhecimento dos limites de crescimento do projecto (Aumento de Capacidade);
- Conhecimento dos limites de reparo do equipamento (Manutenibilidade);
- Conhecimento dos limites de serviço do equipamento (Confiabilidade).

***2) Requisitos do Gerente de Manutenção:,***

- Conhecimento técnico adequado à empresa;
- Sólidos conhecimentos de **PCP** e **PCM**;
- Exercer supervisão adequada: nem feitor de escravos nem chefe bonzinho; sem omissões ou excessos;
- Decisão correcta na hora adequada;
- Comunicabilidade;
- Respeitabilidade;
- Discreto e bem informado sobre os acontecimentos da fábrica;
- Estar atento para a qualidade dos prognósticos emitidos.

***3) Requisitos da Equipe de Manutenção:***

- Cada equipa tem qualidades próprias e distintas;
- Criactividade;
- Qualidade de diálogo;
- Qualidade de informação.

O Gerenciamento inadequado da manutenção pode ser facilmente detectado em uma empresa. Os principais sintomas são:

- Tempo de parada de produção muito grande, afectando os custos de produção;
- Baixos níveis de produção, oriundos de falhas constantes nos equipamentos;
- Planejamento da produção ineficiente, devido à baixa confiabilidade dos equipamentos;
- Custos crescentes da manutenção, às vezes por razões desconhecidas.

Quando os resultados da manutenção da empresa não são adequados deve-se avaliar o potencial da relação entre o prejuízo do sistema actual e a necessidade do investimento para um novo modelo. Neste momento deve ser avaliado o quanto a empresa pode suportar em prejuízos por não possuir um bom sistema de manutenção. As degradações do equipamento são acumulativas e colocam em risco progressivo a produção das unidades, podendo conduzir até mesmo à inviabilidade operacional.

**3.7. Planejamento e Programação da Manutenção:**

A organização da manutenção procura garantir o uso racional dos recursos, garantindo uma boa distribuição da carga de trabalho entre as equipes e procurando qualidade e eficiência dos resultados. Estes factores podem ser considerados como sendo os aspectos estáticos do gerenciamento da manutenção.

O estabelecimento de ferramentas e procedimentos eficazes de planejamento, programação e controle dos serviços de manutenção são considerados os aspectos dinâmicos do gerenciamento. A função destes procedimentos é garantir que recursos adequados estejam no lugar certo, para executar um trabalho pré-determinado de maneira correcta, na ocasião oportuna e dentro do menor custo global.

### *3.7.1. Fundamentos do Planejamento da Manutenção:*

Para que um sistema de planejamento seja eficaz, é necessário que sejam observados os princípios básicos de controle dos trabalhos que podem assim ser descritos:

1. **O planejador deve ter autoridade ou acesso a ela para tomar decisões que influenciem a carga de trabalho ou os recursos disponíveis, bem como a designação das prioridades;**
2. **O planejador deve dispor de informações correcta s e atualizadas, seja da carga de trabalho, seja dos recursos disponíveis;**
3. **As áreas de responsabilidade e as linhas de comunicação entre os níveis de planejamento devem ser definidas com clareza.**

Seja por exemplo uma situação de reparo representada pelo esquema abaixo:

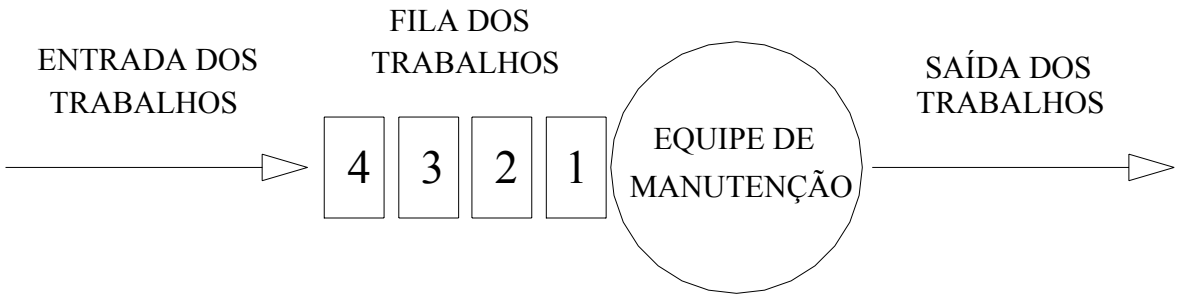



Figura 12: Carteira de Trabalhos da Manutenção

A função do departamento de manutenção, nessa situação, consiste em cada caso dos trabalhos aguardando na fila:

1. Localizar o defeito – Serviço de Engenharia;
2. Diagnosticar o problema – Serviço de Engenharia;
3. Recomendar a acção necessária para corrigir o defeito – Serviço de Engenharia;
4. Decidir sobre a prioridade do trabalho – Serviço de Planejamento;
5. Planejar os recursos necessários à sua execução – Serviço de Planejamento;
6. Programar o trabalho – Serviço de Planejamento;
7. Emitir instruções sobre o serviço – Serviço de Planejamento;
8. Verificar o trabalho – Serviço de Engenharia.

As etapas acima numeradas são uma combinação de serviços de engenharia e de planejamento. Assim, para que essas etapas possam ser planejadas com detalhes e programadas com alguma antecedência, deve-se partir das seguintes premissas:

1. Determinar um programa de trabalho de manutenção preventiva, ao longo do ano, em cargas semanais;
2. Atender os projectos de modificações de fábrica, solicitados por ordens de serviço **(OS)**;
3. Atender as paralisações e trabalhos de emergência.

Neste caso, a tarefa básica do órgão de planejamento consiste em prever e programar esses trabalhos e outros, de manutenção preventiva e correctiva, encaminhando-os aos encarregados sob a forma de **(OS)** de uma forma adequada ao seu planejamento e a curto prazo. Esquematicamente, tem-se:

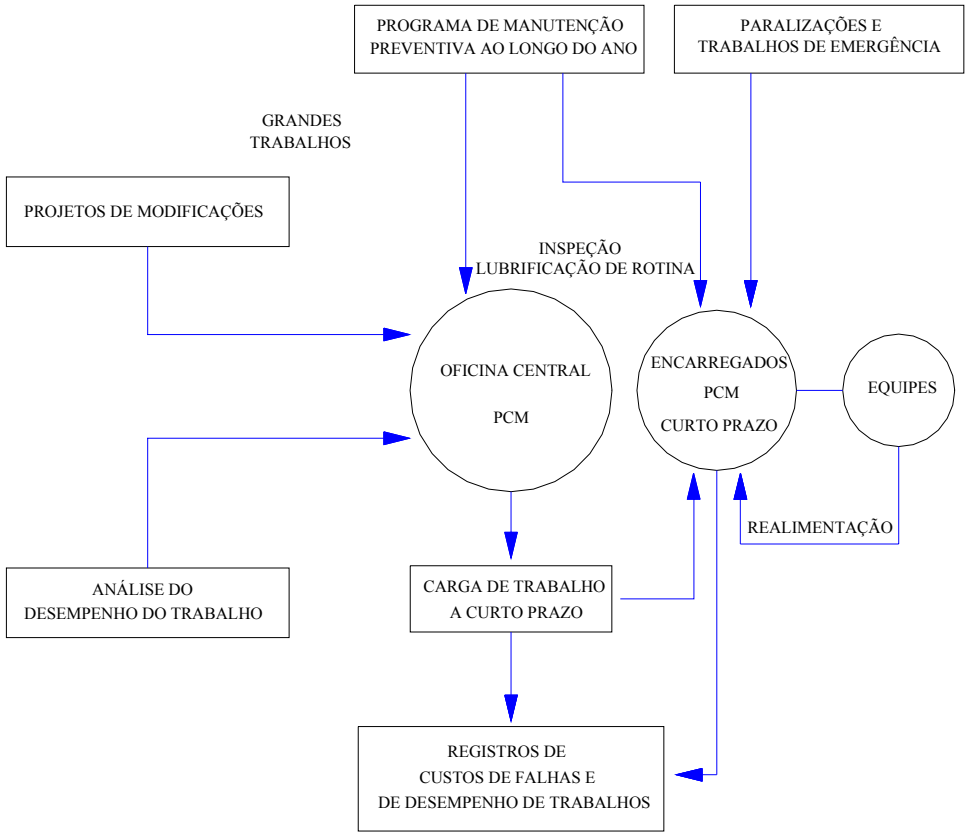

PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA AO LONGO DO ANO
PARALIZAÇÕES E TRABALHOS DE EMERGÊNCIA
GRANDES TRABALHOS
PROJETOS DE MODIFICAÇÕES
INSPEÇÃO LUBRIFICAÇÃO DE ROTINA
OFICINA CENTRAL PCM
ENCARREGADOS PCM CURTO PRAZO
EQUIPES
REALIMENTAÇÃO
ANÁLISE DO DESEMPENHO DO TRABALHO
CARGA DE TRABALHO A CURTO PRAZO
REGISTROS DE CUSTOS DE FALHAS E DE DESEMPENHO DE TRABALHOS

Figura 13: Fluxo de Trabalhos da Manutenção

Do esquema apresentado, pode-se afirmar que:

- Uma ordem de serviço pode ser executada pelo encarregado durante e após a paralisação, sendo utilizada neste caso, principalmente como realimentação do controle dos trabalhos;
- As ligações entre as equipes e sua supervisão e entre esta e o planejamento devem ser direitas, a fim de melhor acompanhar:
  - **a prioridade das paralisações;**
  - **a eventual escassez de recursos;**
  - **os trabalhos adicionais necessários;**
  - **os trabalhos por concluir.**

O problema de planejamento de manutenção se resume na investigação de um programa de procedimentos que possibilite examinar e conhecer o esforço humano capaz de determinar a melhor

maneira para se alcançar um objectivo. Neste caso, não é simplesmente achar uma maneira para se resolver um problema de manutenção mas a melhor maneira. Para isso, dota-se a seguinte sequência de ações:

**1. Seleccione** o trabalho, a tarefa ou o problema a ser estudado. Ele poderá afectar um trabalho individual, uma secção de uma fábrica ou até mesmo uma fábrica inteira;

**2. Defina os Objectivos** que deverão ser alcançados. A realização destes objectivos poderá envolver a utilização de capital, materiais, pessoal, equipamentos, espaço, etc. Poderá exigir um sequenciamento de eventos e a locação das actividades;

**3. Liste os Fatos Relevantes** utilizando manuais de processo, desenhos de instalações em escala, diagramas indicativos de movimentos e até mesmo técnicas de filmagem;

**4. Examine** todos estes fatos de uma maneira crítica e sistemática;

**5. Desenvolva** o melhor método para solucionar o problema;

**6. Implante** o melhor método, considerando-o como uma prática padrão;

**7. Mantenha** este novo método implantado e verifique os resultados alcançados através das verificações regulares de rotina.

### *3.7.2. Registros:*

Este é um requisito essencial não só para a manutenção preventiva, como também aos sistemas de manutenção em geral, Cada fábrica deve ser classificada em unidades e itens, identificados de acordo com o processo e sua localização, devendo os registros conter as informações que se seguem:

1. **Informações gerais sobre a fábrica:** nomes dos fabricantes, nomes dos engenheiros da assistência técnica, dados essenciais da fábrica, disponibilidade de sobressalentes e referências de desenhos e manuais constantes nos arquivos;
2. **Dados de manutenção preventiva:** descrição dos trabalhos, frequências, especialidades envolvidas, tempos de execução, etc.
3. **Histórico da fábrica:** principais trabalhos executados, custos, descrição das paralisações, providências dotadas, etc.

Actualmente sistemas informatizados foram desenvolvidos para o gerenciamento das informações da manutenção. Para a implementação do sistema informatizado é necessário um trabalho de base que requer o cumprimento dos itens descritos acima e de uma série de outros factores apresentados neste capítulo.

### *3.7.3. Programação dos Trabalhos:*

Os trabalhos de manutenção preventiva devem ser distribuídos ao longo do ano em parcelas semanais, cujo objectivo principal é procurar nivelar a carga de trabalho ao longo do ano. Para isso recorre-se normalmente:

- À confecção de um mapa geral de planejamento anual, incorporando os recursos normalmente disponíveis, deixando-se, onde possível, uma certa tolerância do tempo;
- As cartões específicos com instruções básicas dos serviços de manutenção preventiva de cada semana e que podem ser transferidos automaticamente para uma **OS (ordem de serviço)** e encaminhados ao encarregado para o seu planejamento e programação a curto prazo;
-

- À determinação de um **cronograma de barras** **(ou servindo-se das técnicas do PERT-CPM)** onde estejam indicados os tempo necessários e recursos disponíveis;
- Às folhas de especificações de trabalhos para as actividades principais, contendo instruções detalhadas para pronto acesso das equipes quando necessário.

### *3.7.4. Realimentação:*

A realimentação é necessária tanto para o controle dos trabalhos, como também para o controle da condição da fábrica; de forma semelhante à descrição das falhas, das causas aparentes, das datas das falhas, etc. A **OS** pode ser projectada para incluir estas informações, mas em muitos casos se utiliza um registro em separado. Estas informações são encaminhadas ao órgão de planejamento para registro e posterior análise. Dadas as dificuldades geralmente encontradas em fazer com que as equipes preencham formulários, as informações solicitadas devem se reduzir a um mínimo essencial.

### *3.7.5. Programação de Grandes Reparos:*

Os grandes reparos dentro de uma empresa de grande porte são feitos, normalmente, dentro de um planejamento anual e específico para os equipamentos importantes e que sofram desgastes sensíveis no decorrer do seu uso. Assim, cabe à gerência de manutenção planejar e programar essas actividades dentro dos critérios de manutenção preventiva impostos pelo fabricante. Neste caso, os critérios e instruções de operações e manutenção deverão ser minuciosamente discutidos com o pessoal de manutenção, no sentido de se prever uma lista de todas as actividades necessárias ao bom desenvolvimento dos trabalhos, bem como a sequência lógica com que esses trabalhos deverão ser executados.

Para isso, tem sido prática das grandes indústrias executar o planejamento e a programação de grandes reparos, servindo-se das técnicas do sistema **PERT-CPM**, elaborando diagramas ou redes bem detalhadas, indicativos das diversas etapas e prazos necessários aos reparos. A experiência também vem mostrando que grandes reparos em equipamentos e instalações em geral, são feitos tendo por base os serviços de uma bem montada oficina central de manutenção e pessoal especializado.

Equipamentos pesados, porém móveis, exigem instalações e equipamentos de apoio específico no interior da oficina central. Nesse caso, o layout da oficina precisa levar em consideração tal circunstância. No caso da oficina de grandes reparos do Metrô, os vagões devem sofrer revisão completa após percorrerem em serviço 10.000 km. Motores de tracção são desmontados inteiramente e todas a suas partes são revisadas, dentro de um esquema previamente acertado entre o Metrô e o fabricante. Rodas dos vagões são retiradas, medidas suas folgas e rectificadas em máquinas fixas especiais. Todos esses serviços, bem com a previsão de peças de reposição podem ser programadas com a devida antecedência, dentro de um sistema **PERT-CPM**.

Por outro lado, se a grande parada for necessária numa instalação fixa de grande porte, por exemplo, num alto forno, então cabe à gerência de manutenção providenciar o deslocamento de todos os recursos necessários a essa manutenção, envolvendo materiais, equipamentos, pessoal especializado, encarregados, etc. Analogamente, todas as actividades deste tipo de situação podem e devem ser planejadas e programadas através de um bem elaborado diagrama **PERT-CPM**, com todas as indicações de previsões, selecção, deslocamentos, instalações provisórias, esperas, actividades básicas, complementares e decisões de aprovação, teste e colocação em serviço.

### *3.7.6. Sistema PERT-CPM:*

O planejamento dos trabalhos de manutenção podem variar desde actividades simples e de rotina, com o envolvimento de pequenas quantidades de pessoas e recursos, até actividades complexas e realizadas pela primeira vez. Para a organização das tarefas e divulgação das actividades entre os diversos sectores foram desenvolvidas metodologias de planejamento e programação para atender os diferentes tipos de actividade.

Para a solução de situações menos complexas ou actividades específicas são implantadas metodologias de planejamento e programação baseadas em cronogramas de actividades, **gráficos de Gantt** e outras formas de descrição de tarefas adequadas às características dos problemas envolvidos.

Para o planejamento de trabalhos mais complexos o método mais difundido é o sistema **PERT-CPM.** Esta técnica foi desenvolvida pela marinha americana para ser aplicada no programa espacial conhecido como Projecto Polaris, sendo utilizado pela primeira vez em 1958. A finalidade destes métodos é de evitar o caos administrativo e ser capaz de coordenar, operar e controlar um conjunto de actividades com vistas a possibilitar o prosseguimento ordenado dos trabalhos.

O significado destas siglas é:

**PERT – Program Evaluation and Review Technique**
**CPM – Critical Path Method.**

Esta técnica tem como princípios básicos encontrar a sequência ótima das actividades, com redução de custo e prazo de execução.

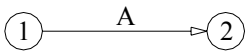
As vantagens da utilização deste método são:

- Fixar a sequência das actividades;
- Determinar o tempo de execução de cada actividade;
- Fixar a duração total dos trabalhos;
- Fixar e delimitar as responsabilidades de cada actividade;
- Determinar folgas e os recursos atribuídos a cada actividade;
- Criar modelos para utilizações futuras.

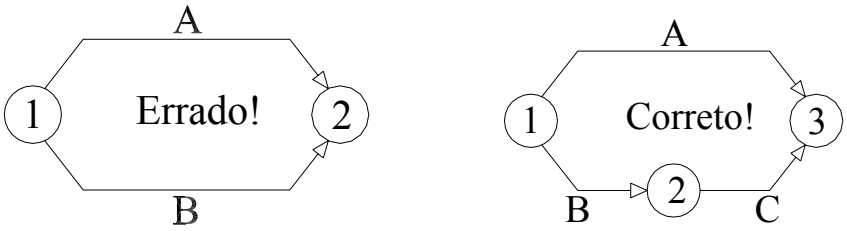
#### ***(A) Fundamentos do PERT-CPM.***

A construção de uma rede de actividades deve seguir algumas regras fundamentais que são descritas a seguir:

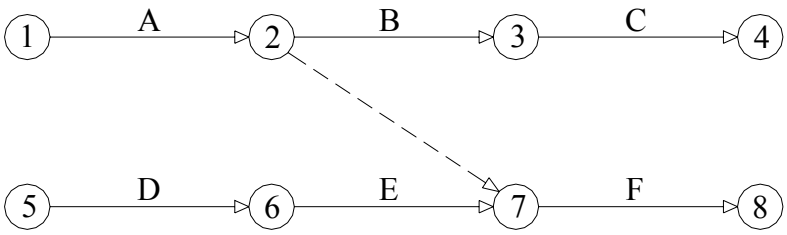
1. Cada actividade é sempre definida por uma única flecha e um par de eventos.



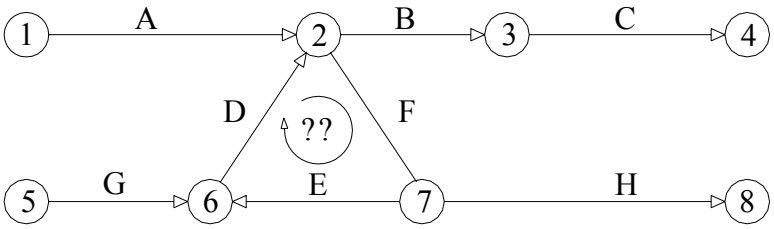

2. Não pode haver no diagrama duas actividades iniciando e terminando no mesmo par de eventos.



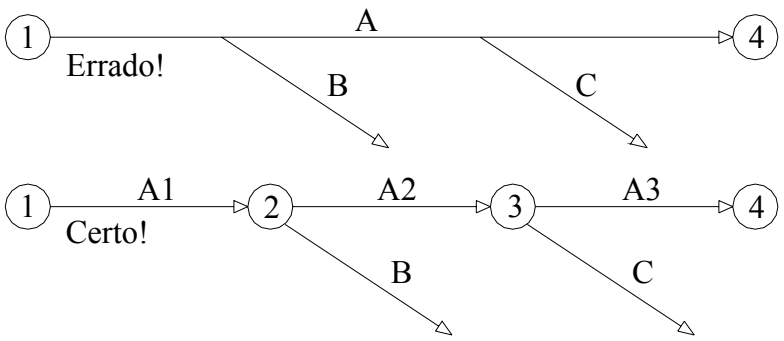

3, Quando as dependências entre as actividades forem apenas parciais, recorre-se à utilização da actividade fictícia para indicar essas dependências.



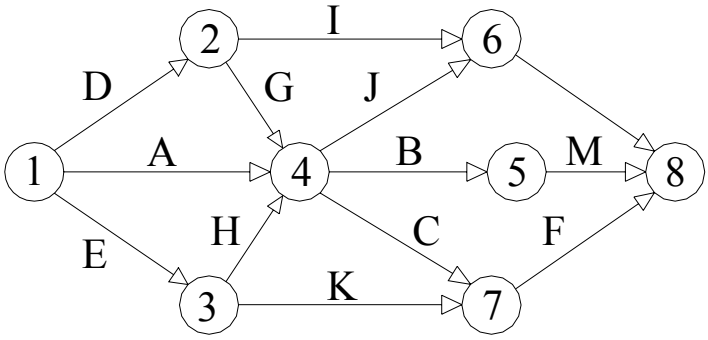

4. Uma rede PERT-CPM não pode apresentar um circuito fechado.



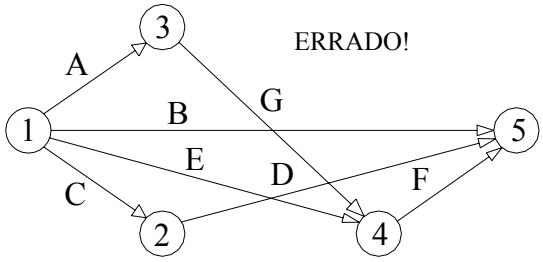

5. Toda vez que uma determinada actividade admitir deferentes etapas pode-se decompor essa actividade em tantas sub actividades quantas forem essas etapas.

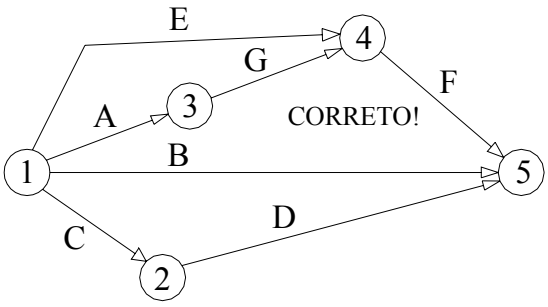



6. Um diagrama PERT-CPM deve se iniciar com um único evento e terminar, também, com um só evento. A rede deve ser fechada.




7. Tanto quanto possível não se devem cruzar quaisquer actividades.




Observações:

- O comprimento da seta não tem nenhum significado com relação ao tempo da actividade; é simplesmente um instrumento de estética, clareza ou facilidade;
- Deve-se sempre verificar a possibilidade de executar actividades em paralelo para economizar tempo.

***(B) Aplicação da Metodologia do PERT-CPM.***

A construção de uma rede PERT-CPM deve seguir as seguintes fases:

**(1) Preparação do Diagrama:**

1. Listagem das actividades
2. Sequenciamento das actividades.

As pessoas que participam dessa fase devem ter um conhecimento completo e amplo dos serviços a executar, dos recursos da empresa, da mão-de-obra disponível, das frentes de trabalho, etc.

**(2) Programação dos Trabalhos:**

1. Fixação dos prazos de duração das actividades;
2. Cálculo da data de início e término das actividades;
3. Determinação das folgas;
4. Alocação de recursos materiais.

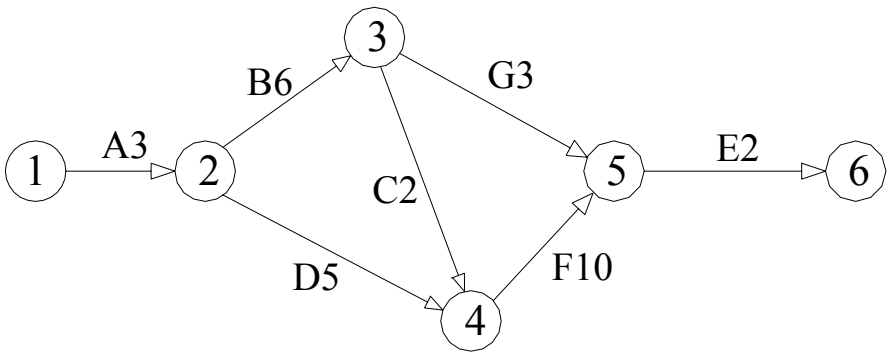
**(3) Determinação do Caminho Crítico:**

***(C) Construção da Rede:***

Considerando a Listagem de actividades descrita na tabela a seguir, construir a rede **PERT** e determinar o caminho crítico.

| Tarefa | Dependências | Tempo |
|---|---|---|
| A | - | 3 h |
| B | A | 6 h |
| C | B | 2 h |
| D | A | 5 h |
| E | G,F | 2 h |
| F | C,D | 10 h |
| G | B | 3 h |

A partir da Lista de Actividades obtém-se o traçado da rede:

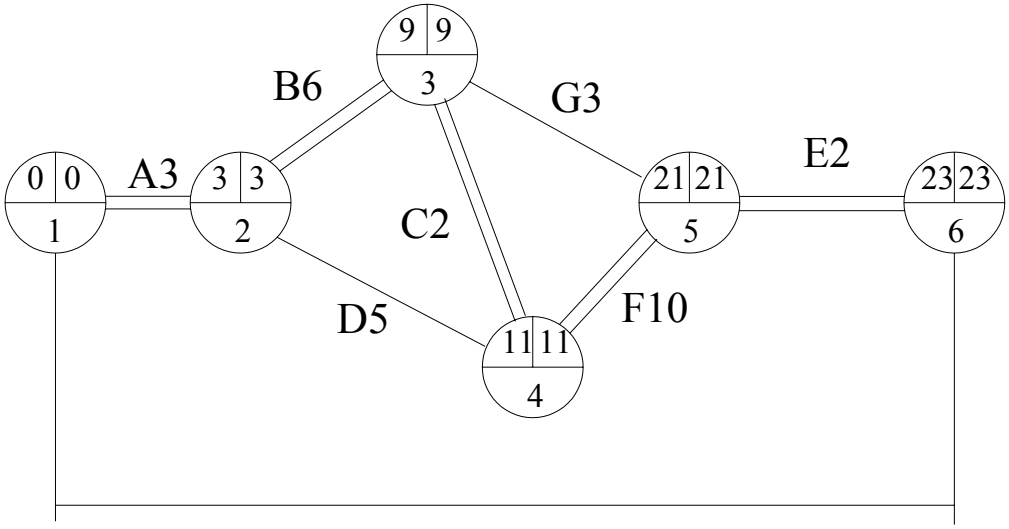



**Os dados acima permitem estabelecer o calendário de execução das actividades.**

| Etapa | | Tarefa | Duração | Data Mais Cedo | | Data Mais Tarde | | Folga | | Caminho Crítico |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Início | Fim | | | Início | Fim | Início | Fim | Livre | Total | |
| 1 | 2 | A | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | X |
| 2 | 3 | B | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 | 0 | 0 | X |
| 3 | 4 | C | 2 | 9 | 11 | 9 | 11 | 0 | 0 | X |
| 2 | 4 | D | 5 | 3 | 8 | 6 | 11 | 3 | 3 | |
| 5 | 6 | E | 2 | 21 | 23 | 21 | 23 | 0 | 0 | X |
| 4 | 5 | F | 10 | 11 | 21 | 11 | 21 | 0 | 0 | X |
| 3 | 5 | G | 3 | 9 | 12 | 18 | 21 | 9 | 9 | |

Este calendário define conceitos que são úteis para a análise do planejamento, incluindo o caminho crítico: **A, B, C, F , E.**

A construção final da rede pode assumir a seguinte forma:



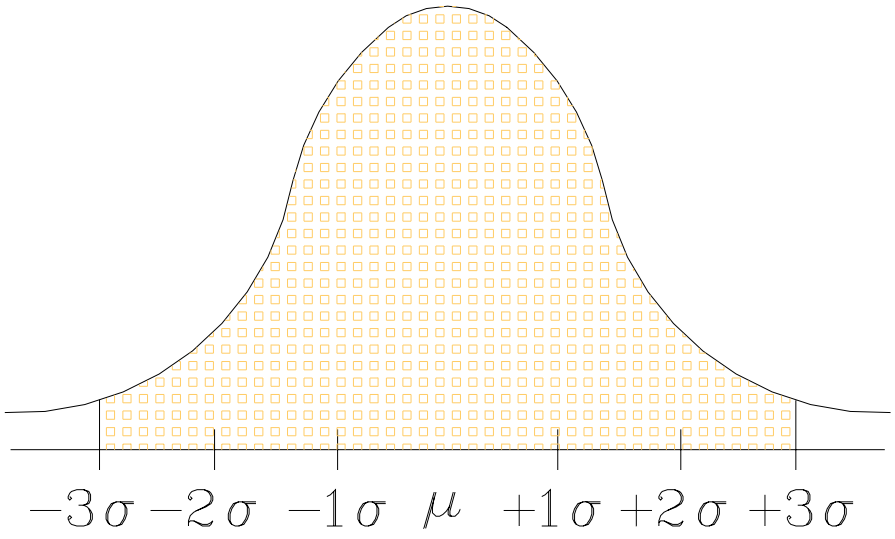

0 (Inicialização) Caminho Crítico A, B, C, F, E Término do Projeto
23 horas

***(D) Sistema PERT-TEMPO:***

É muito difícil estimar o tempo de duração de uma actividade, com razoável precisão, principalmente quando é realizada pela primeira vez. É possível efectuar três tipos de estimativas:

- **Estimativa Otimista ($t_o$):** quando ocorrem todas as condições favoráveis na execução da actividade.
- **Estimativa Pessimista ($t_p$):** quando ocorrem todas as condições desfavoráveis na execução da tarefa.
- **Estimativa mais Provável ($t_m$):** quando as condições favoráveis e desfavoráveis ocorrem na mesma proporção, na execução da actividade.

Podemos associar a ocorrência dessas três estimativas a uma **Distribuição Normal**, com **média μ e desvio padrão σ** e **representada pela simbologia N(μ,σ).**



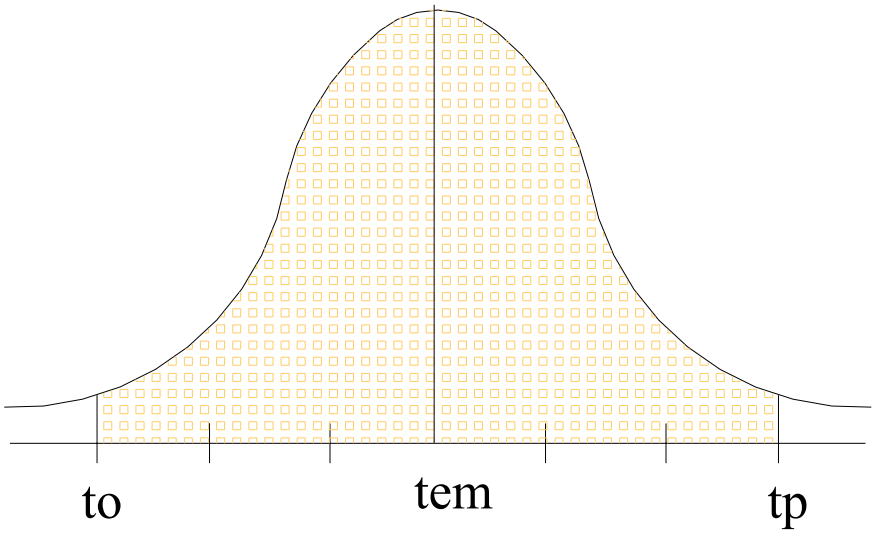

Sendo:

**μ - Média**
**σ - Desvio padrão**
**σ2 – Variância.**

Onde:

**P(μ-3σ ≤ X ≤ μ+3σ) ≥ 99,8 %**
**P(μ-3σ ≥ X ≥ μ+3σ) = 0**
**P(X ≤ μ) = 50 %**

Para a análise probabilística dota-se a seguinte configuração para o tempo do evento.




Nestas condições:

Média: $\mathbf{t_{em} = \frac{to + 4 \times tm + tp}{6}}$

Variância: $\boldsymbol{\sigma^2 = \left( \frac{tp - to}{6} \right)^2}$

Desvio padrão: $\boldsymbol{\sigma = \frac{tp - to}{6}}$

$\mathbf{P(to \leq X \leq tp) \geq 99{,}8\%}$

$\mathbf{P(X \leq to) \cong 0}$

$\mathbf{P(X \geq tp) \cong 0}$

Como a duração total de um programa é dependente directamente do caminho crítico e consequentemente das actividades inseridas no caminho crítico, pode-se deduzir:

- **A variância total de um programa <u>corresponde à soma das variâncias das actividades inseridas no caminho crítico</u>**:

$$\boldsymbol{\sigma_p^2 = \sum \sigma_{cc}^2}$$

- **O tempo médio esperado total de um programa <u>corresponde à soma dos tempos médios esperados das actividades inseridas no caminho crítico</u>:**

$$\mathbf{temp = \sum tem_{cc}}$$

Exemplo: Para uma determinada actividade tem-se os seguintes valores de tempo:

$t_o$ = 2 dias
$t_m$ = 5 dias
$t_p$ = 8 dias

Qual a probabilidade dessa actividade ser realizada em 6 dias?

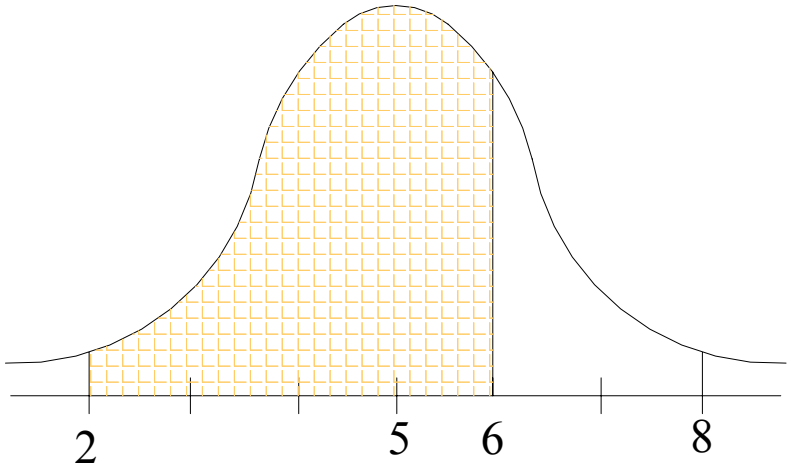
Pode-se calcular os seguintes valores:

$$t_{em} = \frac{t_o + 4 \times t_m + t_p}{6} = 5 \text{ dias}$$

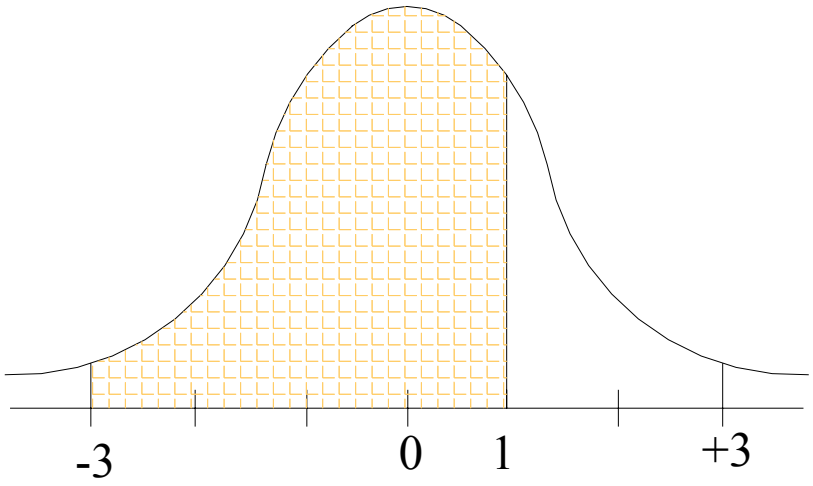
$$\sigma = \frac{t_p - t_o}{6} = \frac{8-2}{6} = 1 \text{ dia}$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6}\right)^2 = \left(\frac{8-2}{6}\right)^2 = 1 \text{ dia}^2$$

A Distribuição Normal **N(μ,σ)**:




A Distribuição Normal Reduzida Z(0,1):




Aplicando o Fator de Transformação:

$$P(X \le 6) = P\left(Z \le \frac{6-5}{1}\right) = P(Z \le 1)$$

Da tabela da distribuição normal; reduzida: (Este valor é obtido da equação da Distribuição Normal e das Frequências Cumulativas e pode ser encontrado em tabelas).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{-x^2/2}$$ (Equação da Distribuição Normal – Curva em Sino)

$$F(x) = F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \int_{-\infty}^{Z} e^{-x^2/2} dx$$ (Probabilidade Cumulativa até o valor de "Z"- ver tabela)

$$P(X \le 6) = P(Z \le 1) = 84{,}13\ \%$$

Portanto, a probabilidade da actividade durar 6 dias é de 84,13% e o risco de não cumprir o prazo é de 15,87%.

## *(E) Sistema PERT-CUSTO:*

Outra aplicação do Sistema PERT é a avaliação das variações de custo de um programa de actividades através de considerações sobre a variação do prazo. Estas análises são efectuadas com base na variação de custo de cada actividade do programa em função das necessidades de alterações do prazo, normalmente para diminuir o tempo total do empreendimento. Primeiramente deve ser analisada a redução dos prazos das actividades do caminho crítico e verificado o impacto destas mudanças no custo global até conseguir atingir uma condição ideal de equilíbrio.

## 4. MÉTODOS E GESTÃO DE MANUTENÇÃO:

As características dos equipamentos de um processo produtivo moderno podem definir diferentes critérios para a selecção do método de manutenção a ser utilizado. Diversas considerações sobre a escolha do método de manutenção são realizadas dentro dos novos conceitos de manutenção apresentados no item 2.

Os métodos de manutenção podem ser divididos nos seguintes grupos: **correctiva, preventiva, preditiva e produtiva (proativa).** As considerações sobre cada um destes métodos são apresentadas a seguir:

### 4.1. Manutenção correctiva:

Este método consiste em uma situação não planejada para a execução da manutenção. A intervenção somente irá ocorrer quando o equipamento perder a sua função. A manutenção correctiva também é conhecida como **"Run To Failure" (RTF)**, que significa **"operar até quebrar"**.

Nas instalações industriais a utilização racional deste método esta limitada a equipamentos em que a consequência da falha não seja significativa para o processo produtivo, como por exemplo: motores de pequena potência **(7,5 HP)**, ar condicionado para conforto pessoal e exaustores de restaurantes.

Quando o uso da manutenção correctiva é praticado de forma inadequada em uma instalação pode-se ter as seguintes consequências: perda de produção, destruição catastrófica, planejamento ineficiente de mão-de-obra, excesso de peças em estoque, baixa disponibilidade dos equipamentos, riscos de segurança e queda da qualidade.

### 4.2. Manutenção Preventiva:

A Manutenção Preventiva consiste na aplicação de um programa regular de inspeção, ajustes, limpeza, lubrificação, troca de peças, calibração e reparo de componentes e equipamentos. Este método é conhecido como manutenção baseada no tempo, sendo aplicada sem considerar as condições do equipamento.

A actuação periódica da inspeção e manutenção com intervalos pré-determinados pode reduzir os níveis de falhas em emergência e melhorar a disponibilidade dos equipamentos.

Para a definição dos períodos de actuação pode ser utilizado o **TMEF (Tempo Médio Entre Falhas)**. Porém, nem sempre é possível alcançar bons resultados com este critério pois muitos componentes apresentam falhas aleatórias.

A utilização da Manutenção Preventiva com acção periódica pode resultar em custos excessivos devido às paradas desnecessárias de equipamentos, gastos excessivos com componentes e riscos de danos no equipamento devido à montagem in correcta.

### 4.3. Manutenção Preditiva:

A Manutenção Preditiva é também conhecida como manutenção baseada na condição, com a utilização de técnicas de inspeção é possível monitorar a evolução do estado do equipamento e Actuar no momento mais adequado.

A aplicação da Manutenção Preditiva é possível quando o componente apresenta um "sintoma" que pode caracterizar o seu processo de falha. Os principais factores que determinam a falha dos componentes são: alteração do nível de vibração, calor, alteração de espessura, trinca e desgaste.

Diversas tecnologias foram desenvolvidas para a avaliação do estado dos equipamentos. As principais são as seguintes: **Análise de Vibração, Emissão Acústica, Análise do Óleo,**

**Termografia, Ensaios Não Destrutivos, Medidas de Fluxo, Análise de Motores Eléctricos, Detecção de Vazamento, Monitoramento da Corrosão, Análise Visual e de Ruído.**

A aplicação correcta de um programa de Manutenção Preditiva pode trazer os seguintes benefícios: **disponibilidade máxima das máquinas, planejamento efectivo da mão de obra, reposição de peças do estoque, segurança operacional, qualidade da manutenção e gerenciamento global dos recursos.**

A limitação do uso da Manutenção Preditiva está na disponibilidade de uma técnica efectiva de monitoramento e nos custos/benefícios da implantação deste método.

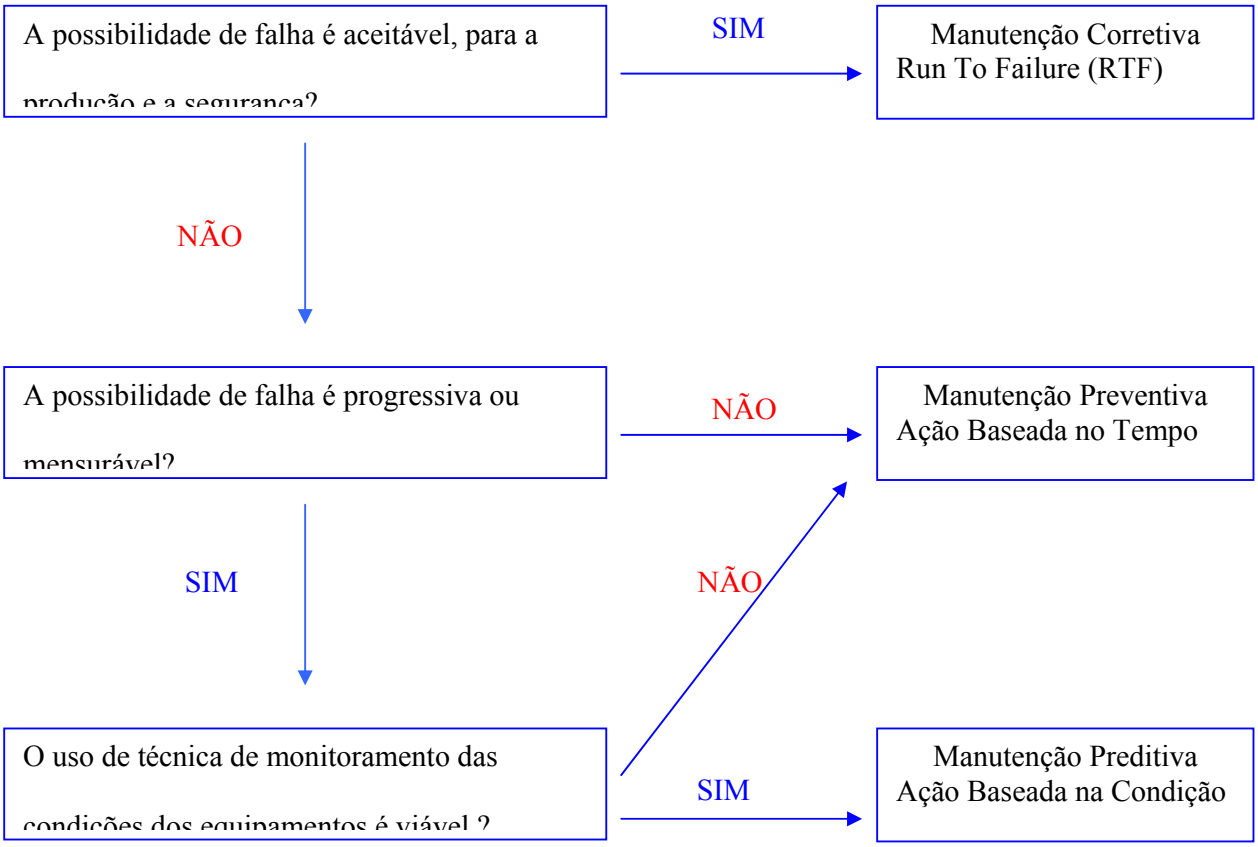
### 4.4. Manutenção Produtiva (Proativa):

A actuação da manutenção para melhorar o desempenho das máquinas tornou-se muito importante com o aumento da competitividade entre as empresas. A Manutenção Produtiva aplica inúmeras técnicas e ferramentas de análise para alcançar níveis de desempenho superior das máquinas e equipamentos.

Neste método a manutenção deve Actuar em todos os estágios da vida de um equipamento, podendo ser aplicado em conjunto com os métodos anteriores, procurando o aumento da confiabilidade. Os conceitos da Manutenção Produtiva estão em sintonia com os conceitos actuais da manutenção apresentados no item 2.

Todas as vantagens dos métodos anteriores podem ser obtidas com a Manutenção Produtiva garantindo uma melhoria contínua dos parâmetros da manutenção e da operação.

A figura 14 apresenta uma metodologia para a escolha do método de manutenção mais adequado.


A possibilidade de falha é aceitável, para a produção e a segurança?
SIM
Manutenção Corretiva Run To Failure (RTF)
NÃO
A possibilidade de falha é progressiva ou mensurável?
NÃO
Manutenção Preventiva Ação Baseada no Tempo
SIM
NÃO
O uso de técnica de monitoramento das condições dos equipamentos é viável ?
SIM
Manutenção Preditiva Ação Baseada na Condição

A MANUTENÇÃO PROATIVA OU PRODUTIVA PODE EXISTIR EM TODOS OS MÉTODOS

Figura 14: Escolha do Método de Manutenção

# 5. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO:

## 5.1. Introdução:

A tecnologia preditiva consiste na eliminação das paradas em emergência dos equipamentos pelo acompanhamento das condições das máquinas, identificando problemas e determinando o tempo em que a acção correctiva deverá ser executada. A base da técnica preditiva é que a maioria dos componentes **"enfermos"** apresentam algum **"sintoma"** que indica a iminência de uma falha. Os sintomas podem ser: alterações do nível de vibração, calor, alteração de espessura, presença de partículas de desgaste no óleo lubrificante, etc. Os benefícios obtidos com a aplicação da preditiva são:

**(1) Aumento da disponibilidade dos equipamentos:** Conhecendo-se as condições dos equipamentos, os reparos podem ser programados e executados sem prejudicar a produção.

**(2) Redução dos trabalhos em emergência:** Estes trabalhos podem ser reduzidos significativamente, podendo chegar a valores inferiores a 3% do homem/hora utilizados na manutenção. O planejamento da utilização dos recursos pode ser mais eficiente.

**(3) Aumento da qualidade dos produtos:** A qualidade dos produtos é frequentemente afectada pela degradação do equipamento. Considerando que o controle da qualidade é muitas vezes efectuado no final do processo, muitos produtos podem ser confeccionados com baixa qualidade. A técnica preditiva pode detectar deficiências nas condições do equipamento, permitindo a correcção antes que a qualidade do produto seja comprometida.

**(4) Melhora da segurança:** A detecção prematura de um defeito elimina as intervenções desnecessárias e os trabalhos extensos, normalmente causados pelas falhas catastróficas.

**(5) Economia de energia:** A eliminação das vibrações de alta energia, como por exemplo devido aos desalinhamentos e desbalanceamentos, pode reduzir o consumo de energia das máquinas entre 10 e 15%.

A metodologia preditiva é composta de várias tecnologias as quais combinadas, podem prever a maioria dos problemas eléctricos e mecânicos dos equipamentos industriais. Podem ser utilizadas tecnologias diversificadas, incluindo instrumentos e processamento de parâmetros, que permitem determinar as condições do equipamento e identificar a origem da anormalidade. As tecnologias preditivas mais comuns são:

- Análise de Vibração.
- Tribologia e Lubrificação.
- Termografia e Medição de Temperatura.
- Medida de Fluxo.
- Análise de Motores Eléctricos
- Detecção de Vazamento.
- Monitoramento de Corrosão.
- Monitoramento de Parâmetros de Processo.
- Observação Visual e de Ruído.

**5.2. Análise de Vibração:**

A análise de vibração consiste em uma técnica cujo desenvolvimento esteve diretamente relacionado com o grande aperfeiçoamento das máquinas modernas a partir da década de 1950.

A utilização da análise de vibração como técnica preditiva obteve grande aplicação em função dos excelentes resultados obtidos na detecção de problemas em equipamentos.

**O princípio básico de utilização da análise de vibração como técnica preditiva consiste na identificação do nível de vibração que pode diferenciar o estado normal de funcionamento de uma situação com alguma irregularidade.** Após a identificação das anormalidades do equipamento a análise de vibração permite relacionar o aspecto da vibração com a causa do problema.

### *5.2.1. Fundamentos da Análise de Vibração:*

Para aplicação da Análise de Vibração como técnica preditiva é necessário o conhecimento dos principais conceitos teóricos, cujas definições são apresentadas a seguir.

#### *5.2.1.1. Definição de Vibração:*

A vibração é a oscilação de algum objecto em torno de um ponto de referência. Pode ser classificada em "periódica" que consiste na vibração com características repetitivas ao longo do tempo ou "aleatória" que não apresenta elementos repetitivos. No caso da vibração mecânica, muitos factores ocorrem simultaneamente, sendo encontradas as vibrações periódicas e aleatórias ao mesmo tempo.

#### *5.2.1.2. Frequência:*

A frequência de vibração é o número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo, a unidade usualmente utilizada é Hertz (Hz).

#### *5.2.1.3. Medidas de Vibração:*

A vibração normalmente muda com bastante rapidez. Sua medição e avaliação utilizem vários métodos. As seguintes unidades de medida são geralmente utilizadas:

**(1) Valor Instantâneo:** Os valores instantâneos são os valores actuais para qualquer instante. A impressão dos valores instantâneos ao longo de um intervalo de tempo fornece um gráfico, o sinal obtido é denominado forma de onda.

**(2) Valor efectivo (rms)**: O valor efectivo, também denominado de valor **rms ("root mean square")**, representa o valor médio quadrático de uma função no tempo **X(t)** em um período de tempo **T**. O valor efectivo é definido na equação:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T X^2(t)dt}$$

**(3) Valor de Pico:** O valor de pico é o máximo valor de um determinado intervalo de tempo e a metade da amplitude total.

**(4) Valor Pico-a-Pico:** O valor pico-a-pico **(p-p)** é o valor máximo de vibração no intervalo de tempo e representa a amplitude total.

**(5) Razão de Pico:** A razão de pico é a relação entre o valor de pico e o valor efectivo (valor de pico/valor efetivo). Este valor também é chamado de **"factor de crista"**. Para a onda senoidal este valor é **√2**.

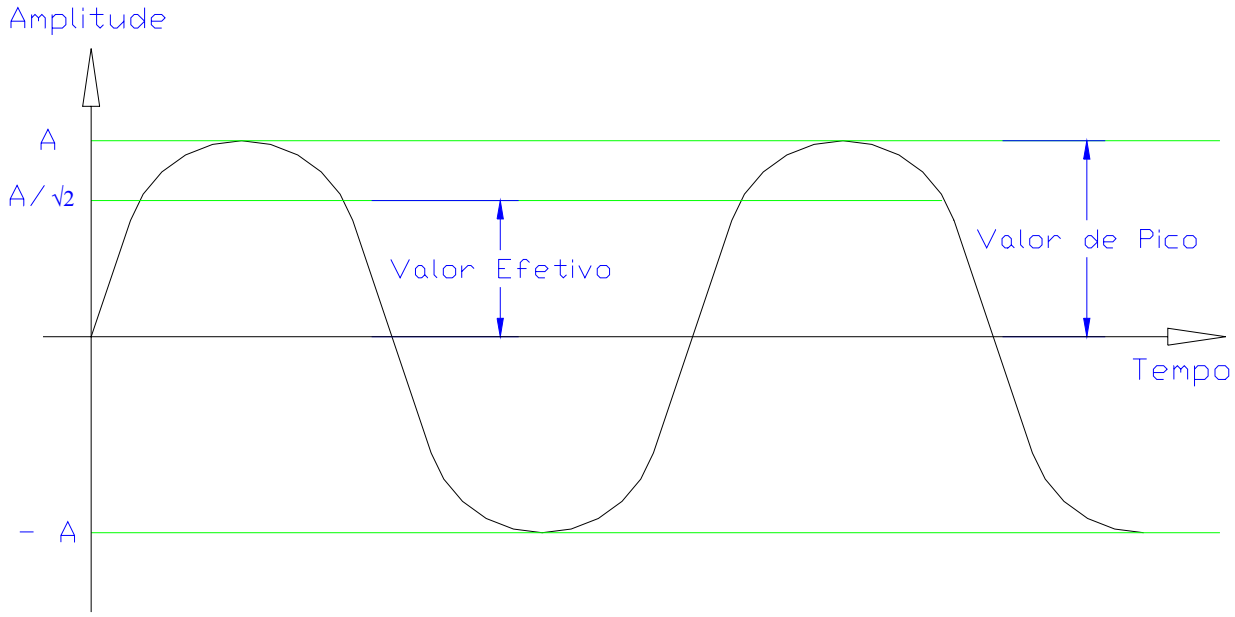



Figura 15: Valores para a Vibração Senoidal: Valor Efectivo, Pico e Pico-a-Pico

### *5.2.1.4. Deslocamento, Velocidade e Aceleração:*

As medidas de vibração normalmente são expressas em valores de deslocamento, velocidade e aceleração. A seguir são definidos estes conceitos.

**(1) Deslocamento:** O deslocamento representa a medida da oscilação do movimento vibratório, usualmente é utilizado o valor pico-a-pico **(p-p)**. Quando um peso oscila com movimento harmônico simples **(vibração senoidal)**, amplitude total 2A e frequência **f (Hz)**, conforme mostrado na Figura 16, a função **X(t)** do deslocamento de vibração é dada pela expressão:

$$X(t) = A.Sen(2\pi ft)$$

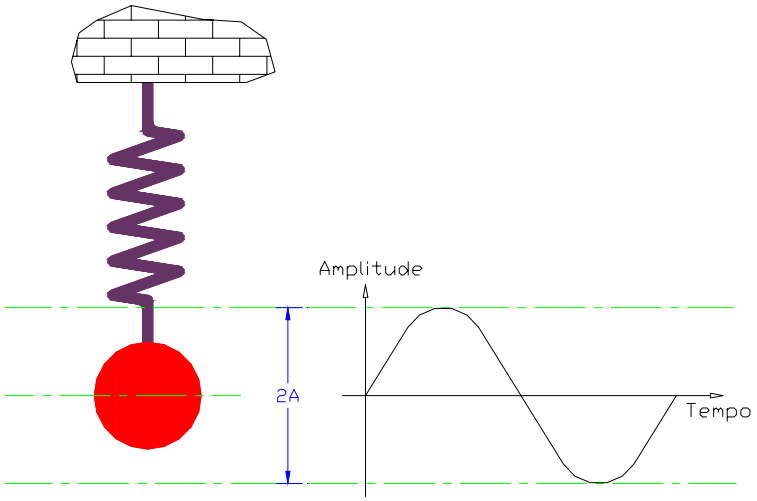



Figura 16: Sistema Vibratório com Movimento Harmônico Simples

**(2) Velocidade:** A velocidade é representada pela quantidade de deslocamento na unidade de tempo, usualmente é utilizado o valor **rms**. No caso da Figura 2 a velocidade de vibração pode ser obtida pela expressão:

$$V(t) = A.2.\pi.f.Cos(2\pi ft)$$

No caso do movimento harmónico simples (equação acima), o valor da velocidade de vibração em rms é: **$2\pi fA\sqrt{2}$.**

**(3) Aceleração:** A aceleração é representada pela variação da velocidade em determinado período de tempo, usualmente é utilizado o valor de pico. No caso da Figura 2 a aceleração pode ser obtida pela expressão:

$$a(t) = A.(2.\pi.f)^2 Sen(2.\pi.f.t)$$

Através das equações acima, para uma amplitude de deslocamento constante **A**, a amplitude da velocidade será **$2\pi fA$** e de aceleração **$(2\pi f)^2 A$**. Portanto, as amplitudes da velocidade e da aceleração aumentam com o acréscimo da frequência. A sensibilidade relativa das medidas com relação a frequência do sinal é representada pela figura 17.

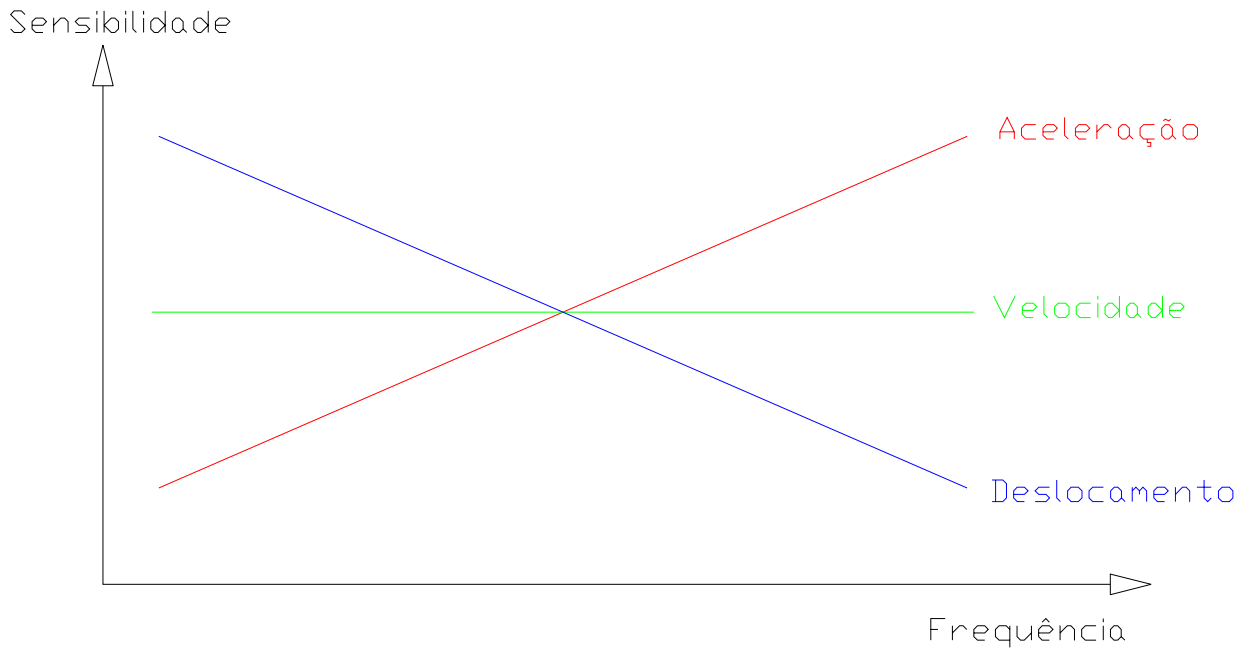



Figura 17: Comparação aproximada da sensibilidade da medida de deslocamento, velocidade e aceleração.

Por esta razão a medida da aceleração é melhor para frequências altas e o deslocamento é preferido para baixas frequências. A velocidade possui característica intermediária, entre o deslocamento e a aceleração, sendo utilizado como a maneira mais adequada para acompanhamento dos valores de vibração de uso mais frequente (desbalanceamento, desalinhamento, etc...) das máquinas rotativas. Por este motivo às normas para definição de níveis de vibração utilizam como referência à velocidade, pois este valor é relativamente o mesmo para diferentes rotações do equipamento.

### ***5.2.1.5. Espectro de Vibrações:***

As vibrações de um equipamento ou máquina qualquer normalmente são constituídas por um conjunto de vibrações, contendo várias frequências, cada uma delas gerando um determinado componente.

O **sinal de vibração** no domínio do tempo é submetido à **Transformada de Fourier** para obtenção do sinal equivalente no domínio da frequência. A Figura 18 apresenta a forma simplificada da passagem do sinal **X(t)** para **X(f)**.

O sinal de vibração no domínio da frequência é denominado de Espectro de Vibrações. Este tratamento de sinal é feito em instrumentos especiais que utilizam a **FFT (Fast Fourier Transform)**.

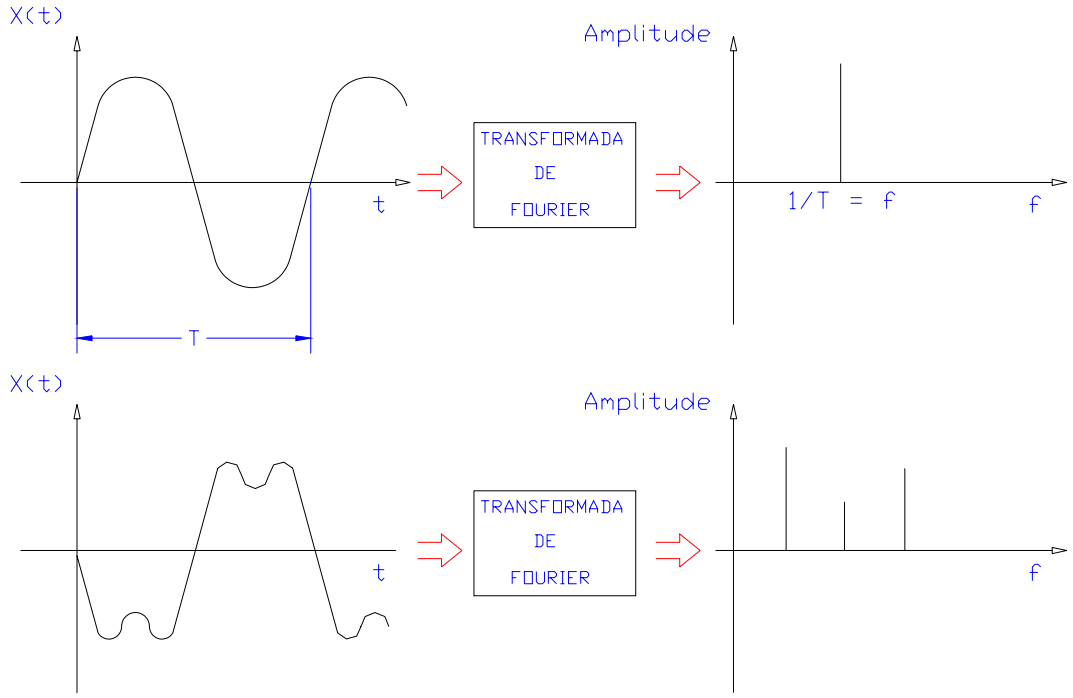



Figura 18: Espectro de Vibrações

O tratamento de sinal em aparelhos especiais permite realizar a análise de vibração, relacionando as frequências com as prováveis causas.

### *5.2.2. Procedimentos para a Medida e Análise de Vibrações:*

A medição e a análise de vibração são efectuadas com equipamentos especiais que possuem recursos diversificados. O equipamento disponível para a medição define as características do processo de medição.

#### *5.2.2.1. Preparação para Medição:*

**(1) Pontos de Medição:** Os pontos de medição para detectar problemas do equipamento normalmente estão localizados nos mancais. A figura 19 apresenta as recomendações da **Norma ISO 3945** para as posições de medição. Uma determinada direcção de medida pode identificar com melhores condições alguns tipos de problemas. Na direcção radial pode-se monitorar com melhores condições o desbalanceamento e na direcção axial o desalinhamento. Entretanto, a medição nas duas direcções radiais (vertical e horizontal) e na direcção axial normalmente é recomendada.

No caso de rolamentos é ideal efectuar a medida na direcção radial e na zona de carga do mancal, caso não seja possível, é admissível a medida fora da zona de carga ou na direcção axial. Em todos os casos é necessário fixar o transdutor de forma rígido e o mais próximo possível do rolamento.

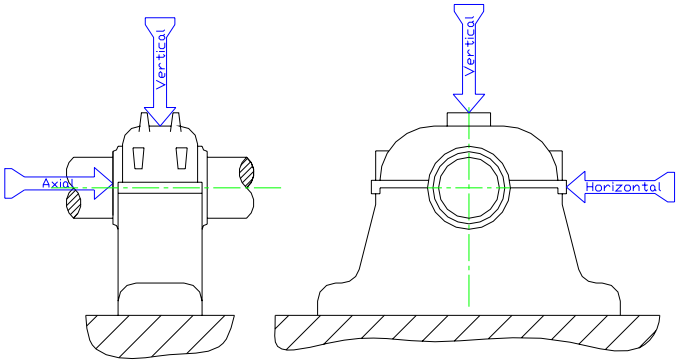



Figura 19: Posições para a Medição da Vibração

**(2) Transdutores:** O transdutor é o componente onde o sinal de vibração é gerado, também pode ser denominado de sensor de vibração. Actualmente existem três tipos básicos de transdutores comumente utilizados nas aplicações de monitoramento de vibração: acelerómetro, transdutor de velocidade e sensor de proximidade.

O acelerómetro é constituído de um cristal piezoeléctrico, uma massa/mola com precarga e um circuito eléctrico para a pré-amplificação do sinal. O movimento vibratório produz uma variação de força sobre o conjunto massa mola **(Força = Massa x Aceleração)** que actuando sobre o cristal piezoeléctrico produz uma variação de tensão, que se constitui no sinal de vibração. Os acelerómetros são os transdutores mais utilizados na medição de vibração em geral devido à ampla faixa de frequência de sua aplicação. A limitação encontra-se nos sinais de baixa frequência. Os acelerómetros não sofrem desgaste, porém podem ser danificados em caso de impactos severos. A figura 20 apresenta a descrição dos componentes de um acelerómetro.

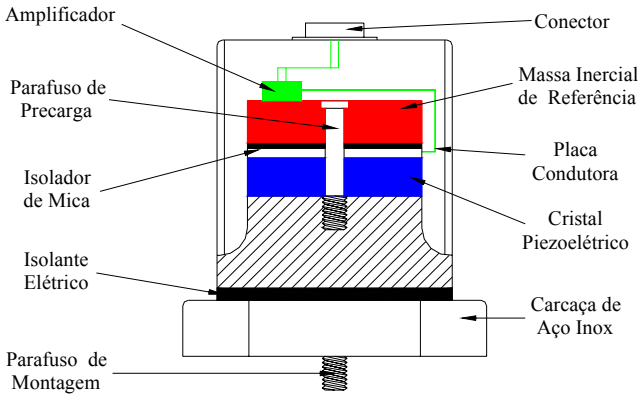



Figura 20: Descrição do Acelerómetro

O transdutor de velocidade é constituído por uma bobina de arame muito fino imersa em um campo magnético. A construção do transdutor faz com que o movimento vibratório movimente a bobina no campo magnético estacionário, produzindo uma variação de voltagem **(Força eletromotriz = Campo Magnético x L x Velocidade)**. Estes transdutores possuem melhor resposta para baixas frequências, em comparação com o acelerómetro. Este tipo de transdutor pode sofrer desgaste, sendo bastante sensível ao impacto.

O sensor de proximidade não entra em contacto com o equipamento em que se mede a vibração. Este sensor é constituído por uma bobina, não condutora, protegida por uma cápsula. Uma corrente de alta-frequência cria um campo electromagnético em torno da bobina. O sensor é

colocado próximo à superfície que se deseja medir a vibração, a variação de distância devido ao movimento é detectado com bastante precisão pelo campo magnético. Este sensor é o mais adequado para baixas frequências. A construção não apresenta desgaste, porém é muito sensível ao impacto. A figura 21 apresenta a descrição de um sensor de proximidade.

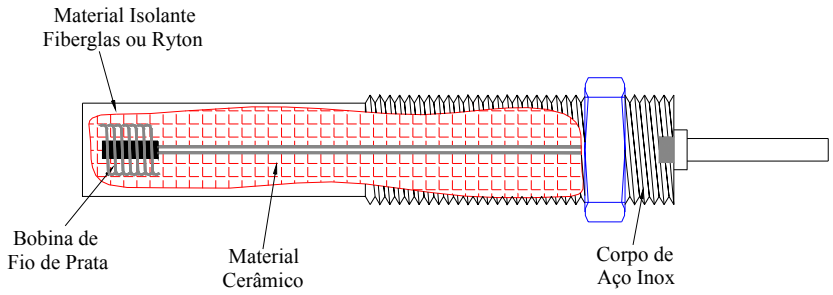



Figura 21: Descrição do Sensor de Proximidade

### *5.2.2.2. Tipo de Medição e Análise:*

Basicamente existem dois tipos de medição da vibração na manutenção: *nível global e análise espectral.*

**(1) Medição por Nível Global**: Consiste no tipo de medição mais utilizado. Não exige grau de especialização do pessoal e pode ser feito com instrumentos mais simples e de leitura directa. Este tipo de medição pode ser aplicada para a grande maioria dos equipamentos existentes nas indústrias, como por exemplo: **motores, ventiladores, bombas e mancais** de uso geral.

Actualmente já existem normas e especificações que permitem associar o valor do nível global da medida de vibração com as condições do equipamento. Estas recomendações são muito importantes para as definições preliminares dos níveis de normalidade e anormalidade do equipamento. A Medição por Nível Global permite estabelecer a curva de tendência, que constitui na aplicação típica da vibração como ferramenta de Manutenção Preditiva. A figura 22 apresenta a evolução dos valores do nível global de uma medida de vibração, onde foram estabelecidos os diversos níveis de vibração correspondentes ao valor normal, valor de alarme e valor de desligamento.

A Tabela 1 apresenta os valores referentes às **normas ISO 2372 e ISO 3945.**

A medição do nível global normalmente não é suficiente para definir a causa da vibração. A identificação da falha é feita normalmente pela análise espectral.

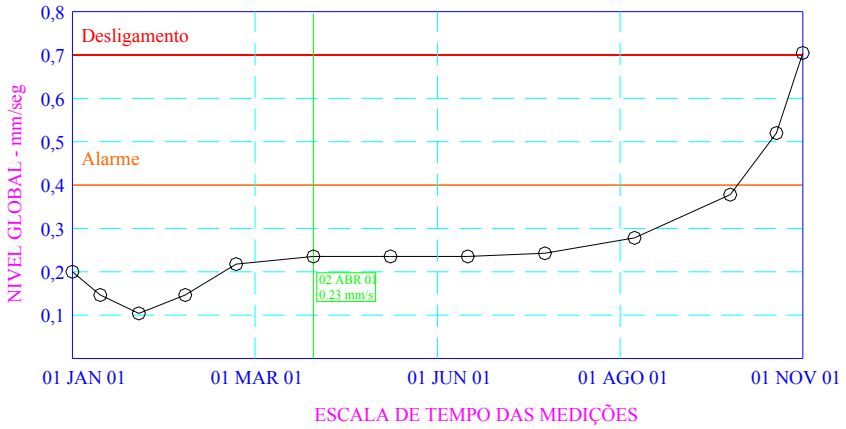



Figura 22: Evolução das Medidas pelo Nível Global da Vibração

<table>
<tr><th>Velocidade de Vibração</th><th colspan="4">Classificação das Máquinas</th></tr>
<tr><th>mm/seg (Valor RMS)</th><th>Máquinas Pequenas Classe I</th><th>Máquinas Médias Classe II</th><th>Máquinas Grandes Classe III</th><th>Máquinas Grandes Classe IV</th></tr>
<tr><td>0,71</td><td>Excelente</td><td rowspan="2">Excelente</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>1,12</td><td rowspan="2">Bom</td></tr>
<tr><td>1,80</td><td rowspan="2">Bom</td></tr>
<tr><td>2,80</td><td rowspan="2">Atenção</td><td rowspan="2">Excelente</td></tr>
<tr><td>4,50</td><td rowspan="2">Atenção</td><td rowspan="2">Bom</td></tr>
<tr><td>7,10</td><td rowspan="3">Inadmissível</td><td rowspan="2">Atenção</td></tr>
<tr><td>11,20</td><td rowspan="2">Inadmissível</td><td rowspan="2">Atenção</td></tr>
<tr><td>18,00</td><td>Inadmissível</td><td>Inadmissível</td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>Classe I:</td><td colspan="4">Motores de até 15 kW ou máquinas pequenas equivalentes</td></tr>
<tr><td>Classe II:</td><td colspan="4">Motores de 15 a 75 Kw ou máquinas médias até 30 kW fundação rígida</td></tr>
<tr><td>Classe III:</td><td colspan="4">Máquinas grandes em fundações rígidas</td></tr>
<tr><td>Classe IV:</td><td colspan="4">Máquinas grandes em fundações flexíveis</td></tr>
</table>

Tabela 1: Níveis de Vibração conforme norma ISO (2372, 3945)

**(2) Medição pela Forma de Onda:** Neste caso é utilizado o sinal bruto da vibração no domínio do tempo. Este método é indicado para a identificação de impulsos de vibração de origem

individual. Este tipo de medição pode ser utilizado na análise de modulações e batimento. A figura 23 apresenta o aspecto de uma Medição pela Forma de Onda.

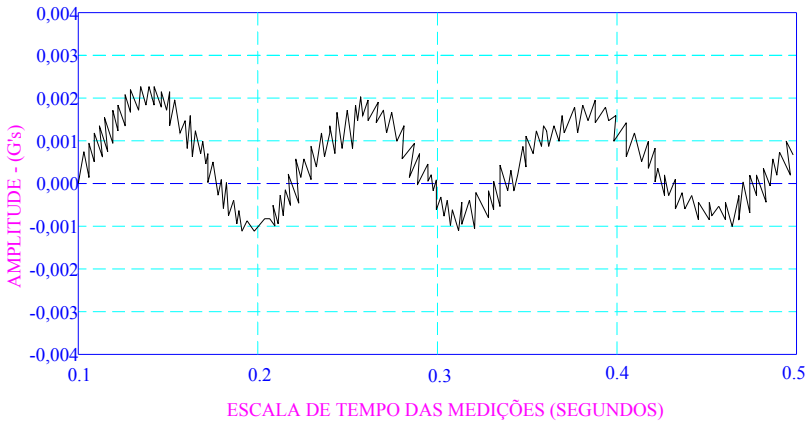



Figura 23: Medição pela Forma de Onda

**(3) Medição pelo Espectro de Vibrações:** O espectro de vibrações é uma ferramenta para diagnóstico de problemas em equipamentos. Este tipo de análise exige instrumentos mais sofisticados e pessoal especializado. A análise do espectro é feita no sinal no domínio da frequência, que é obtido aplicando-se a **FFT (Fast Fourier Transform – Transformada Rápida de Fourier)** no sinal do tempo. Esta é uma definição relativamente simples, pois os instrumentos existentes já possuem recursos para análises específicas, com tratamento mais sofisticado do sinal. A figura 24 apresenta o aspecto de uma medida do espectro de vibrações.

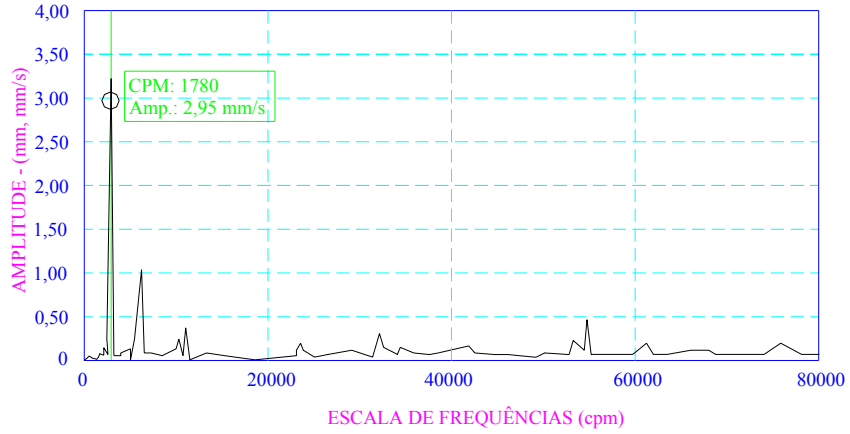



Figura 24: Medição pelo Espectro de Vibrações

A tabela 2 apresenta a relação entre alguns problemas típicos de equipamentos e suas respectivas frequências. A utilização deste tipo de informação permite uma avaliação preliminar das causas das vibrações.

As frequências características de defeitos de rolamentos podem ser calculadas através de equações obtidas da cinemática do movimento. Actualmente os catálogos electrónicos da maioria dos fornecedores têm esses valores disponíveis para a consulta. O cálculo a partir das equações depende do conhecimento das dimensões dos rolamentos, que podem ter pequenas diferenças entre os diversos fabricantes.

| DIAGNÓSTICO SIMPLIFICADO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VIBRAÇÕES | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Origem Provável | Frequência | Direcção | Amplitude | Observações |
| **Desbalanceamento** | | | | |
| Desbalanceamento de massa | 1x rotação | Radial | Estacionária | Encurvamento do rotor pode alterar amplitude e fase. |
| Eixo torto | 1x rotação<br>2x rotação empeno do eixo próximo ao acoplamento | Axial | Estacionária | Pode confundir com desbalanceamento de massa e desalinhamento |
| Rotor fora de centro | 1x, 1x e 2x a rotação<br>2x frequência da linha | Radial | Estacionária | Apresenta flutuação quando existe problema de origem eléctrica |
| **Desalinhamento** | | | | |
| Paralelo | 1x e 2x rotação | Radial | Estacionária | A maioria dos desalinhamentos é constituída por uma combinação de ambos. Nos acoplamentos de grande distância das pontas de eixo o valor de 1x rpm é maior |
| Angular | 1x e 2x rotação | Axial | | |
| Angular e Paralelo | 1x e 2x rotação | Axial<br>Radial | | |
| **Mancais** | | | | |
| Rolamentos | Início entre 30 e 60 kHz. A seguir 1x a frequência tabela 3. | Radial<br>Axial | Aumenta com avanço do defeito. | Pode ser confundido com outros defeitos. Utilizar a técnica especial. |
| Deslizamentos | Início na faixa de sub-harmónico da rotação. Depois como folga | Radial | Aumenta com a degradação do mancal. | O uso de sensor de proximidade é o mais indicado. Recomenda-se o uso complementar sensor de proximidade axial. |
| **Engrenagens** | | | | |
| Erro de Transmissão. Acabamento ruim dos dentes | Frequência de engrenamento e harmónicas | Radial (rectos) Radial e Axial (Hélic.) | Função da velocidade, carga e erro de transmissão. | |
| Desbalanceamento, desalinhamento, dentes defeituosos, desvios do circulo primitivo. | 1x rotação eixo. Frequência de engrenamento. Faixas laterais. | Radial (rectos) Radial e Axial (Helic.) | 1x rotação com faixas laterais dependendo do defeito | Podem ocorrer ressonâncias torsionais e laterais em várias frequências. Erros de acabamento podem dar vibrações de 2x ou 3x da frequência de engrenamento |
| **Instabilidade do Filme de Óleo** | | | | |
| Turbilhonamento do Óleo | 40 a 45% da rotação e harmónicas | Radial | Estacionária dentro de 20/30% da rotação Maior nos casos mais severos. | Pode excitar o rotor de maneira crítica. Deve ser utilizado o sensor de proximidade. |
| Atrito do Rotor | 50% da rotação e meias harmónicas | Radial | Estacionária dentro de 20/35% da rotação Maior nos casos mais severos. | |
| **Folgas Mecânicas** | | | | |
| Mancais, Pedestais não girantes | 1x, 2x, 3x predominante. Atinge até 10x | Radial | Estacionária | |
| Pás, Palhetas e outros elementos girantes. | 1x predominante. Atinge até 10x | Radial | Normalmente estável em operação contínua Varia com a partida da máquina. | As variações de amplitude e fase podem ser causadas por deslocamento do centro de gravidade. |

Tabela 2: Relação entre possíveis defeitos e a frequência de vibração

**(4) Técnicas Especiais:** Para a análise de problemas específicos relacionados ao monitoramento da vibração de diversos componentes das máquinas foram desenvolvidas algumas técnicas especiais de tratamento de sinal. As principais técnicas disponíveis nos equipamentos de monitoramento são: Spike Energy e Envelope, para a análise de rolamentos; SEE e Stress Wave Analysis para deficiência de lubrificação. O detalhamento do uso destas técnicas pode ser obtido nas referências do curso e nos manuais dos fabricantes de analisadores de vibração (IRD, SKF, CSI e outros).

### *5.2.2.3. Métodos de Medição:*

A utilização eficaz da Análise de Vibração como técnica preditiva exige que seja estabelecida uma rotina de medição. Esta rotina permite avaliar a evolução do nível de vibração do equipamento em suas frequências características, estabelecendo as curvas de tendência, permitindo identificar uma falha com antecedência. Sabendo-se a causa do problema é possível tomar ações correctivas ou programar a parada antes que ocorra uma emergência.

A medição pode ser feita das seguintes maneiras:

**(1) Medição executada no local:** A medição local ocorre quando é feita uma avaliação das condições instantâneas do equipamento em função da observação de alguma anormalidade. Pode ser feita em nível global ou análise de espectro, dependendo-se da disponibilidade de recursos.

**(2) Colecta de dados:** A colecta de dados consiste na determinação de uma rotina de medição para equipamentos seleccionados. Os dados podem ser anotados manualmente ou gravados em instrumentos especialmente construídos para esta finalidade. A análise dos dados é feita através da evolução dos níveis de vibração, que pode ser em nível global ou espectro, dependendo dos recursos disponíveis. Actualmente existem instrumentos e programas para facilitar a implementação deste método. Após o acumulo de dados e a experiência na manutenção dos equipamentos, é possível estabelecer os níveis de normalidade, alarme e desligamento. A utilização deste método de forma correcta, permite a redução das emergências e maiores danos aos equipamentos, além disso, com o histórico das medições é possível avaliar as causas das falhas.

**(3) Monitoramento Contínuo:** Esta técnica é utilizada nos equipamentos mais importantes do processo produtivo e equipamentos cuja falha coloque em risco a segurança. Este método pode ser feito pelo nível global ou espectro. Normalmente os sinais permanecem gravados para obter um histórico das medições. A facilidade para a aquisição de transdutores e a possibilidade de interface com os computadores actuais tem permitido uma maior utilização deste método. A tendência para o futuro é que a maior parte dos equipamentos já estejam disponíveis com estes sistemas de protecção, facilitando a aquisição de dados para a análise de vibrações dos equipamentos.

### *5.2.3. Alinhamento e Balanceamento de Máquinas:*

O desalinhamento e desbalanceamento representam quase metade dos problemas de vibração na maioria das indústrias. A figura 25 apresenta as percentagens dos principais tipos de problemas detectados pela análise de vibração em uma instalação siderúrgica integrada. Esta figura demonstra a importância do controle da vibração causada pelas forças originadas pelo desalinhamento e desbalanceamento. Este fato tornou necessário o desenvolvimento de padrões, normas e equipamentos capazes de garantir que a grande diversidade das máquinas modernas pudessem operar dentro de níveis admissíveis de vibração.

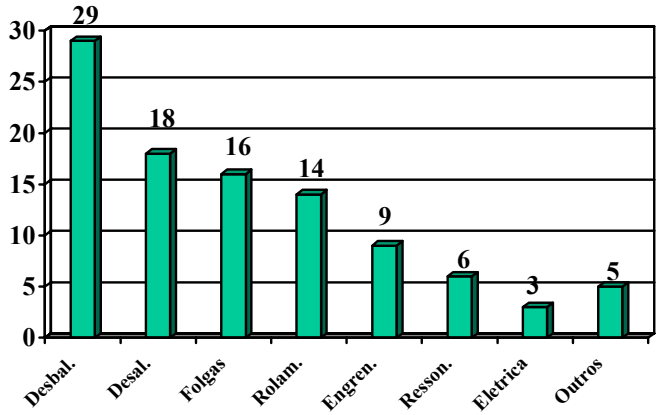



Figura 25: Principais problemas causados pela vibração

### *5.2.3.1. Alinhamento de Máquinas:*

Após a montagem dos cubos do acoplamento da máquina movida e motriz os equipamentos são posicionados nas respectivas bases para o início do alinhamento. A tabela 3 apresenta uma orientação geral para o alinhamento de equipamentos para diferentes rotações de trabalho, na falta da recomendação do fornecedor do equipamento, estes valores podem ser utilizados.

| Rotação (RPM) | Tolerância de Alinhamento | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Valor Recomendado (máximo) | | Valor Limite (máximo) | |
| | Deslocamento* | Ângulo (graus) | Deslocamento* | Ângulo |
| 500 | 0,90 | 0,052 | 1,90 | 0,115 |
| 1000 | 0,88 | 0,050 | 1,86 | 0,106 |
| 1500 | 0,80 | 0,046 | 1.78 | 0,102 |
| 2000 | 0,78 | 0,045 | 1,75 | 0,101 |
| 2500 | 0,75 | 0,043 | 1,73 | 0,100 |
| 3000 | 0,68 | 0,039 | 1,64 | 0,094 |
| 3500 | 0,64 | 0,037 | 1,55 | 0,089 |
| 4000 | 0,62 | 0,036 | 1,50 | 0,086 |
| 4500 | 0,58 | 0,033 | 1,45 | 0,083 |
| 5000 | 0,55 | 0,032 | 1,39 | 0,080 |
| 5500 | 0,51 | 0,030 | 1,34 | 0,077 |
| 6000 | 0,48 | 0,028 | 1,30 | 0,075 |

* Este valor corresponde ao deslocamento em relação ao centro do eixo de transmissão dividido pela distância considerada neste eixo em milésimos/mm.

Tabela 3: Valores de referência para o alinhamento

#### A. A Importância do Alinhamento:

O desalinhamento do equipamento pode provocar elevadas perdas para a indústria. É difícil determinar os custos gerados pela falha prematura dos equipamentos, perdas de produção e o consumo excessivo de energia devido ao desalinhamento.

A capacidade de obter melhor desempenho com o equipamento bem alinhado é directamente proporcional ao conhecimento, habilidade e vontade do pessoal da manutenção. O

equipamento com alinhamento regular pode durar entre um e dois anos, porém, caso seja gasto neste período 4 ou 8 horas a mais para o alinhamento mais refinado, o equipamento pode funcionar perfeitamente por 3 ou 6 anos, ou até mais.

### B. Sintomas do Desalinhamento Excessivo:

O desalinhamento excessivo provoca os seguintes problemas no equipamento:

1. Falha prematura do rolamento, vedações, eixo e do próprio acoplamento.
2. Vibração radial e axiais excessivas (pode variar conforme o tipo de acoplamento).
3. Aumento da temperatura dos mancais.
4. Vazamento de óleo nas vedações do mancal.
5. Afrouxamento dos parafusos da base.
6. Afrouxamento ou quebra dos parafusos do acoplamento.
7. Aquecimento do acoplamento. Nos acoplamentos com elastómeros, verificar o efeito da temperatura.
8. Desgaste excessivo do acoplamento.
9. Ruptura do eixo na região do mancal ou do acoplamento.
10. Perda de óleo ou graxa pelo acoplamento.

### C. Definição do Desalinhamento:

O desalinhamento é a variação da posição relativa entre os eixos a serem acoplados em relação a uma linha de simetria, que normalmente é a linha de centro de um dos equipamentos. Nas aplicações gerais os equipamentos devem ser alinhados com valores limites de 0,001 mm/mm de separação entre os pontos de flexão do acoplamento. Nos acoplamentos de engrenagem à distância entre os pontos de flexão corresponde à distância entre os pontos de contado do engrenamento nos semi-acoplamentos. Para rotações elevadas (acima de 3600 rpm) este valor deve ser de 0,0005 mm/mm de separação entre os pontos de flexão (a tabela 3 apresenta valores mais detalhados).

### D. Tipos de Desalinhamento:

A figura 26 apresenta os tipos de situações possíveis no posicionamento das pontas de eixo dos equipamentos. A situação da figura 26.a e 26.b não ocorrem na prática. Na figura 26.a é apresentado o desalinhamento paralelo (Y) e na figura 26.b é mostrado o desalinhamento angular, a combinação do desalinhamento angular (Θ) e paralelo (Y) que ocorre na prática é apresentado na figura 26.c.

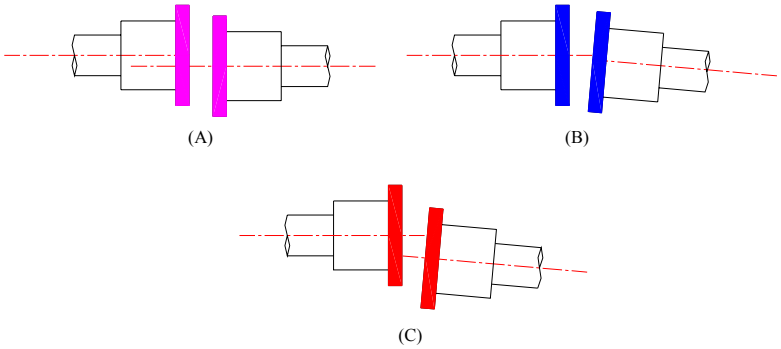



Figura 26: Tipos de Desalinhamento

## E. Diferença entre Alinhamento do Acoplamento e Tolerância do Acoplamento:

A capacidade de desalinhamento admissível do acoplamento apresentada no catálogo do fabricante representa, na maioria das vezes, a capacidade de vida à fadiga dos componentes do acoplamento. Normalmente este valor é cerca de 10 vezes maior do que o desalinhamento admissível dos equipamentos. Para obter o valor correcto a ser utilizado no alinhamento deve ser consultado o manual de instruções do equipamento ou na falta desta informação deve ser utilizada a tabela 3.

## F. Métodos de Alinhamento:

Actualmente existem diversos métodos e equipamentos que podem ser utilizados na correcção do desalinhamento do equipamento. A escolha do método a ser utilizado depende do grau de precisão necessário ao perfeito funcionamento do equipamento e da disponibilidade de pessoal treinado para a aplicação do método.

**1. Método da régua e calibre de lâminas:** Neste método o desalinhamento paralelo e angular são medidos directamente nas extremidades dos cubos do acoplamento. Este método é bastante limitado com relação à precisão, pois até as tolerâncias de fabricação dos componentes do acoplamento influenciam no resultado. Portanto, este método pode ser aplicado em pequenos equipamentos e como método preliminar para o alinhamento da máquina.

**2. Método do relógio comparador:** É o método de alinhamento mais utilizado na prática. A aplicação correcta deste método garante o alinhamento do equipamento dentro dos limites indicados na tabela 3.

3. **Método do alinhamento a laser:** Existem vários tipos de sistemas para alinhamento a laser. Os equipamentos podem utilizar três princípios básicos: laser/prisma, duplo laser/duplo detector e laser/separador/duplo detector. A figura 27 apresenta um equipamento típico de alinhamento a laser.

As principais vantagens deste método são: precisão elevada, facilidade de execução com pessoal treinado e cálculo directo das correcções necessárias.

As desvantagens do método são: custo elevado do equipamento, faixa de medição limitada, a temperatura ambiente e humidade podem afectar a leitura e a iluminação excessiva pode dificultar a utilização do equipamento.

Figura 27: Equipamento para Alinhamento Laser

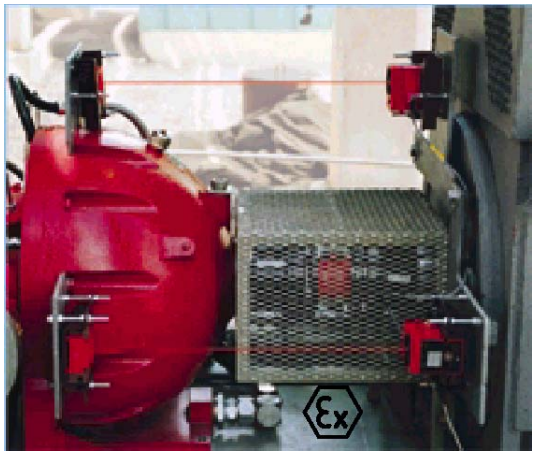


Figura 28: Monitoramento do Alinhamento

**G. Alinhamento a quente:** O aquecimento de alguns equipamentos pode alterar as condições do alinhamento a frio. Neste caso o alinhamento deve ser corrigido, parando o equipamento após o aquecimento. Outra forma de corrigir o desalinhamento a quente é a obtenção de informações do fornecedor do equipamento ou através da experiência com o histórico da manutenção.

A figura 28 apresenta um equipamento derivado do alinhador laser que permite o monitoramento permanente do alinhamento da máquina.

### *5.2.3.2. Balanceamento:*

Todos os equipamentos rotativos apresentam um deslocamento do centro de gravidade em relação ao eixo de simetria de rotação da máquina, mesmo com os mais precisos processos de fabricação. Durante a rotação da máquina, o deslocamento do centro de gravidade irá provocar o aparecimento de forças de inércia que causam a vibração da máquina. Para garantir que estas forças não provoquem danos ao equipamento são estabelecidos níveis de vibração admissíveis que estão relacionados ao grau de desbalanceamento residual da máquina. A correcção do nível de vibração causado pelo deslocamento do centro de gravidade do rotor é efectuada através do balanceamento da máquina.

#### A. Definição do Desbalanceamento:

O desbalanceamento de massa é causado pelo deslocamento do centro de gravidade do rotor da máquina em relação ao centro de rotação. Durante a rotação do eixo, a massa desbalanceada irá causar forças e vibrações nos mancais.

Todo equipamento admite um determinado valor de desbalanceamento, que é denominado desbalanceamento residual.

## B. Balanceamento de Rotores Rígidos e Rotores Flexíveis (NBR 8008):

Rotor rígido é aquele em que o desbalanceamento pode ser corrigido em dois planos quaisquer de tal forma que após esta correcção, seu desbalanceamento não ultrapasse significativamente as tolerâncias de balanceamento para qualquer velocidade, até a máxima velocidade de operação, e quando gira nas condições que se aproximam daquelas do sistema definitivo de apoio.

Nos rotores flexíveis as rotações elevadas podem causar deformações elásticas gerando forças adicionais que somente desaparecem nas rotações mais baixas. Portanto, o balanceamento é influenciado pela rotação da máquina.

## C. Tipos de Desbalanceamentos:

O desbalanceamento estático ocorre quando o eixo de rotação da máquina está paralelo ao eixo de distribuição de massa. Neste caso o balanceamento pode ser corrigido em um único plano.

No desbalanceamento dinâmico o eixo de distribuição de massa cruza com o eixo de rotação. O balanceamento deve ser corrigido em dois planos, para compensar as forças e momentos gerados pela rotação da máquina.

Para rotores especiais, normalmente com múltiplos estágios, normalmente são utilizadas técnicas especiais de balanceamento. Neste caso é efectuado o balanceamento em vários planos, de acordo com a construção do rotor. Este balanceamento é aplicado para bombas multiestágio, turbinas a vapor, compressores e outras máquinas rotativas com alta rotação.

Normalmente o balanceamento de oficina das máquinas é efectuado em rotações inferiores à rotação da máquina, podendo ser aplicado com sucesso para os rotores rígidos. Aplicações especiais podem necessitar o balanceamento na rotação da máquina. Neste caso são utilizadas máquinas de balanceamento especiais, com câmaras de vácuo e alta potência para permitir a realização de balanceamento na rotação.

## D. Principais Causas do Desbalanceamento:

As principais causas dos desbalanceamento são:
- Acumulo de material no rotor;
- Desgaste do rotor do equipamento;
- Corrosão acentuada de componentes do rotor;
- Empenamento do eixo;
- Deficiência de fixação do rotor;
- Deformações por temperatura.

## E. Qualidade do Balanceamento:

**As Normas ISO 1940 e NBR 8008** estabelecem os critérios de qualidade e procedimentos para o balanceamento dos rotores. Este critério normalmente é aplicado em oficinas, com a utilização de máquina de balanceamento.

A qualidade de balanceamento pode variar de **G0,4 a G4000**, sendo que este valor define o deslocamento do centro de gravidade em relação ao centro de rotação (e) em **μm**.

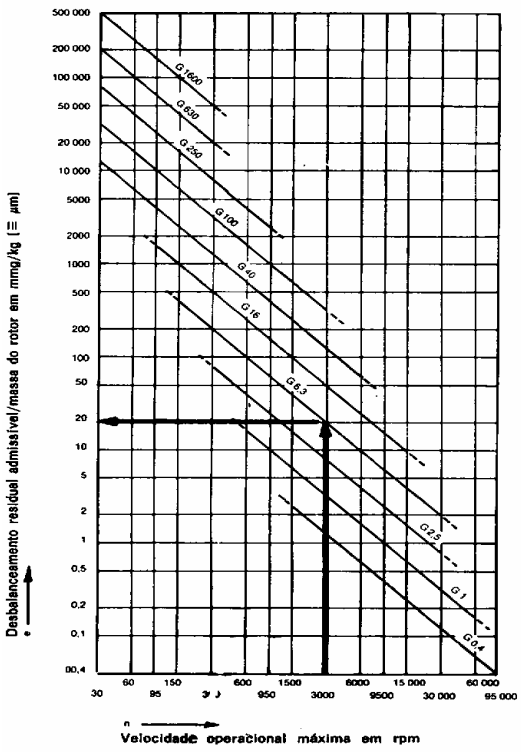
Para o cálculo do desbalanceamento residual admissível devemos definir os seguintes dados:
- Balanceamento em um ou dois planos;

- Qualidade de balanceamento escolhida;
- Rotação de trabalho do rotor;
- Raio de correcção;
- Forma de correcção;
- Massa do rotor.

**Exemplo de cálculo da massa residual:**

Determinar a massa residual admissível para o balanceamento de um rotor em dois planos, para qualidade de balanceamento G6,3. A rotação máxima de trabalho deve ser de 3000 rpm, o raio de correcção de 500 mm e a massa de rotação de 400 kg.

O primeiro passo consiste em definir na **ISO 1940** o valor do deslocamento do centro de massa em relação ao centro de rotação, e (g.mm/kg) ou (μm).




O valor do desbalanceamento **U** é obtido pelo produto de "e" pela massa do rotor:

**U = e x M = 20 x 400 = 8000 (gr.mm)**

O valor por plano, conforme **ISO 1940**, é obtido dividindo U por dois:

**Up = 8000/2 = 4000 (gr.mm)**

O desbalanceamento residual admissível é dado por:

**m = Up / r = 4000 / 500 = 8 (gr.)**

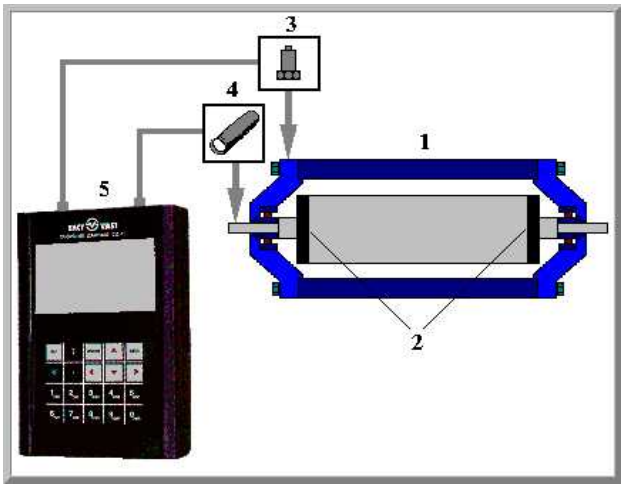
Este valor indica que a massa de desbalanceamento residual admissível no raio de correcção é de 8 gr.

**F. Balanceamento de Campo:**

O balanceamento de campo é utilizado para efectuar o refino do balanceamento de oficina ou para corrigir o desbalanceamento do equipamento em operação, sem a necessidade de desmontar o rotor da máquina.

Os níveis de vibração definidos na tabela 1 são utilizados para definir o grau de balanceamento necessário para o equipamento.

Actualmente existem instrumentos que podem fazer o balanceamento em um ou dois planos de forma bastante rápida e precisa. A figura 29 apresenta um aparelho típico para o balanceamento de campo.




1. Máquina
2. Pontos de correcção
3. Transdutor de Vibração
4. Tacómetro (Estroboscópio)
5. Instrumento de Medição

Figura 29: Instrumento para Balanceamento de Campo

Para execução do balanceamento é efectuada a leitura inicial. Posteriormente é adicionada a massa de teste no rotor, efectuando-se uma segunda leitura. Nestes instrumentos os transdutores medem os níveis de vibração, o tacómetro identifica os ângulos de fase e o analisador efectua o cálculo das massas de correcção. Após a adição da massa de correcção é efectuada uma nova leitura, para verificar a necessidade de uma massa de refino.

## 5.3. Análise de Óleo:

O uso da análise de óleo como técnica de manutenção começou a ser aplicada na década 50. A crise do petróleo intensificou o uso da análise de óleo, que passou a cumprir uma nova função na manutenção das máquinas, permitindo o monitoramento das condições do óleo lubrificante e identificar a necessidade de troca ou apenas reposição parcial. Neste período foram introduzidas técnicas preditivas que permitiam através da análise de óleo diagnosticar problemas nos equipamentos. Actualmente as leis ambientais tornaram ainda mais rigorosas as medidas de manutenção relacionadas com a utilização do óleo na indústria, sendo necessária à implementação de estações de tratamento e métodos de descarte e reaproveitamento dos lubrificantes.

**A análise de óleo é aplicada como técnica de manutenção para os sistemas de lubrificação, sistemas hidráulicos e equipamentos eléctricos.** Neste estudo será estudada a aplicação da análise de óleo relacionada com a lubrificação dos equipamentos.

### *5.3.1. Finalidade da Lubrificação:*

A Lubrificação pode ser considerada como um princípio básico para o funcionamento da maioria dos equipamentos. Porém, a lubrificação é uma das causas de falha mais comuns nos equipamentos industriais, podendo causar sérios prejuízos operacionais e danos nos equipamentos.

**As funções básicas do lubrificante são: reduzir o atrito e desgaste; retirar o calor gerado pelo atrito ou pelo funcionamento da máquina; formar o filme de lubrificante; evitar a corrosão e contaminação.**

### *5.3.2. Fundamentos da Análise do Óleo Lubrificante:*

A análise do óleo lubrificante é utilizada com dois objectivos principais: **identificar as condições do óleo e identificar possíveis falhas do equipamento.**

#### *5.3.2.1. Condições do Óleo Lubrificante:*

O lubrificante pode apresentar dois processos básicos de falha. O primeiro ocorre devido à contaminação por partículas de desgaste do equipamento ou por agentes externos, sendo a água um dos contaminantes mais comum nas instalações industriais. O segundo processo de falha está relacionado com a degradação das propriedades, devido às alterações das características do lubrificante, prejudicando o desempenho de suas funções.

**Os objectivos da análise do lubrificante são: escolher o lubrificante correcto; manter o lubrificante limpo (filtragem); manter a temperatura correcta ; manter o lubrificante seco; garantir o bom desempenho da lubrificação.**

Os benefícios da análise do lubrificante são: reduz ou elimina falhas por deficiências na lubrificação; protege o equipamento do desgaste excessivo ou prematuro; reduz os custos de manutenção; aumenta a disponibilidade do equipamento; reduz os gastos com o lubrificante.

#### *5.3.2.2. Condições do Equipamento:*

A análise do óleo lubrificante pode ser utilizada para a avaliação das condições do equipamento. Através da avaliação da composição química, quantidade e forma dos contaminantes, foram desenvolvidas técnicas de acompanhamento e análise que permitem definir mecanismos de falha de componentes da máquina. As principais técnicas disponíveis são: espectrometria e ferrografia.

#### *5.3.2.3. Colecta de Amostras:*

A análise do óleo é realizada em amostras de lubrificantes retiras do equipamento. Os cuidados na obtenção destas amostras são:

- Garantir a homogeneidade da amostra;

- A colecta deve ser feita com o equipamento operando;
- Não pode haver contaminação no local de retirada da amostra;
- O recipiente de colecta deve estar isento de contaminação;
- O ponto de colecta deve ser sempre o mesmo;
- Deixar escoar um pouco de lubrificante antes da colecta ;
- Normalmente a quantidade necessária é de meio litro;
- Identificar correcta mente a amostra com as informações necessárias.

### *5.3.3. Tipos de Análise de Lubrificantes:*

As análises dos lubrificantes podem ser divididas em quatro grupos: análise físico-química; análise de contaminações; espectrometria; ferrografia.

#### *5.3.3.1. Análises Físico-Química:*

A análise físico-química tem como objectivo principal a identificação das condições do lubrificante. Estas análises podem ser efectuadas de forma pontual, ou seja, medidas isoladas; ou análise periódica, ao longo do tempo, para o acompanhamento das condições do lubrificante.

A seguir são descritas as principais análises físico-química utilizadas na manutenção dos equipamentos.

**A. Viscosidade Cinemática:**

A viscosidade é a medida de resistência ao escoamento de um fluido, é a principal propriedade dos óleos lubrificantes. A medida é feita a 40$^{o}$C ou 100$^{o}$C. As principais normas utilizadas para a definição dos ensaios de viscosidade são: **ASTM D445 e NBR 10441.** A unidade de medida mais utilizada é o cSt, cm$^2$/seg.

A viscosidade diminui devido à contaminação por solvente ou óleos de menor viscosidade. A viscosidade aumenta devido à oxidação, presença de insolúveis, água e contaminação por óleos de maior viscosidade.

O Índice de Viscosidade é um número adimensional que mede a intensidade de variação da viscosidade em relação à temperatura. Quanto maior o Índice de Viscosidade, menor é a variação

da viscosidade em função da temperatura. Os ensaios para determinação deste valor são previstos pelas normas **ASTM D2270 e NBR 14358.**

**B. Ponto de Fulgor e Ponto de Inflamação:**

O Ponto de Fulgor representa a temperatura que o óleo deve atingir para que uma chama passada sobre a superfície inflame os vapores. O ensaio é definido pela **ASTM D92** e o valor é medido em Graus Centígrados.

O Ponto de Inflamação representa a temperatura que o óleo deve atingir para que uma chama passada sobre a superfície inflame os vapores formados e sustente a combustão. O ensaio é definido pela **ASTM D92** e o valor é medido em Graus Centígrados.

**C. Total Acid Number (TAN) e Total Base Number (TBN):**

O **TAN** representa o número de acidez total, este valor indica a quantidade total de substâncias acidas contidas no óleo. As substâncias ácidas geradas pela oxidação do óleo podem atacar metais e produzir compostos insolúveis. As normas que definem este ensaio são **ASTM D664 e ASTM D974**, a unidade é **mgKOH/g**.

**D. Corrosão em Lâmina de Cobre:**

Este valor define as características de protecção corrosiva do óleo lubrificante. Este ensaio determina o comportamento do óleo em relação ao cobre e as suas ligas. As normas para este ensaio são **ASTM D130 e NBR 14359.**

### *5.3.3.2. Análise de Contaminação:*

A contaminação do lubrificante ocorre devido à presença de substâncias externas que infiltram no sistema, pelo desgaste do equipamento ou por reacções que ocorrem no próprio lubrificante. Os principais ensaios utilizados na manutenção para detectar a presença de lubrificantes são:

**A. Karl Fisher e Destilação:**

Estes ensaios são utilizados para identificar a presença de água. A água provoca a formação de emulsões, falha da lubrificação em condições críticas, precipitação dos aditivos, formação de borra e aumento da corrosão. **As normas ASTM D1744 e a ASTM D95** definem os procedimentos para este ensaio, sendo o valor definido pela % de presença de óleo na amostra.

**B. Insolúveis em Pentano:**

Este ensaio determina a saturação do lubrificante por presença de insolúveis em pentano. Estes contaminantes são constituídos por partículas metálicas, óxidos resultante da corrosão, material carbonizado proveniente da degradação do lubrificante e material resinoso oxidado (lacas, vernizes).

### *5.3.3.3. Espectrometria:*

A espectrometria pode ser feita pelo método da absorção atómica ou de emissão óptica. Em termos gerais este ensaio identifica todos os elementos químicos presentes no lubrificante. A amostra é introduzida numa câmara de combustão e os materiais são **"desintegrados"** até o seu nível atómico, conforme mostrado na figura 30. Cada elemento químico possui frequências particulares, como impressões digitais, tornando possível a identificação.

As figuras 31, 32 e 33 apresentam os principais tipos de ensaios espectrométricos que podem ser utilizados na definição dos componentes presentes em uma amostra de lubrificante.

Estes tipos de ensaios fornecem informações sobre o desgaste do equipamento, com dados precisos do conteúdo de substâncias metálicas (ferro, cobre, alumínio, níquel, cromo, chumbo, etc)

assim como contaminações externas, como por exemplo o silício. Além disso, podem avaliar os aditivos presentes no lubrificante.

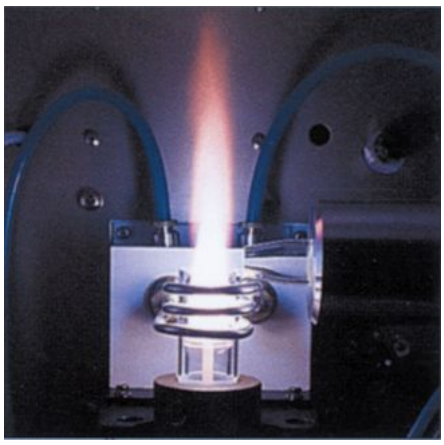


Figura 30: Preparação da Amostra

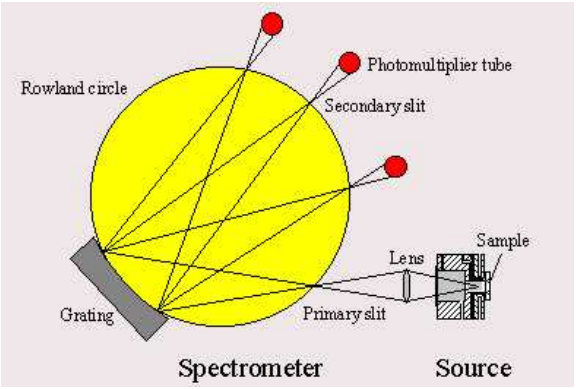



Figura 31: Espectrometria por Emissão Ótica

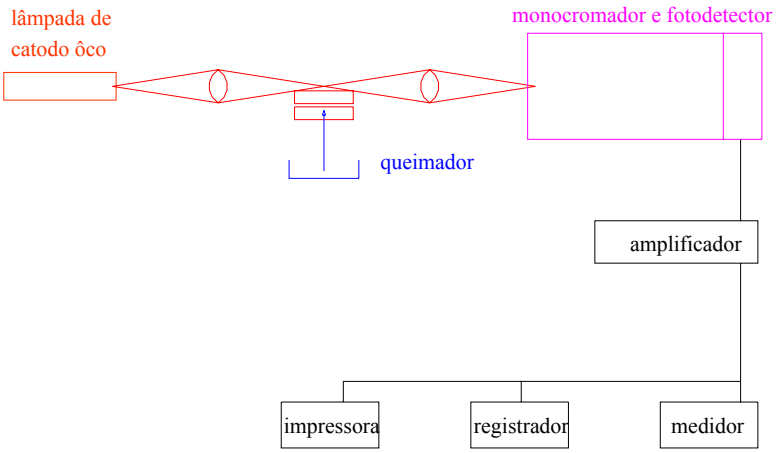



Figura 32: Espectrometria por Absorção Atómica

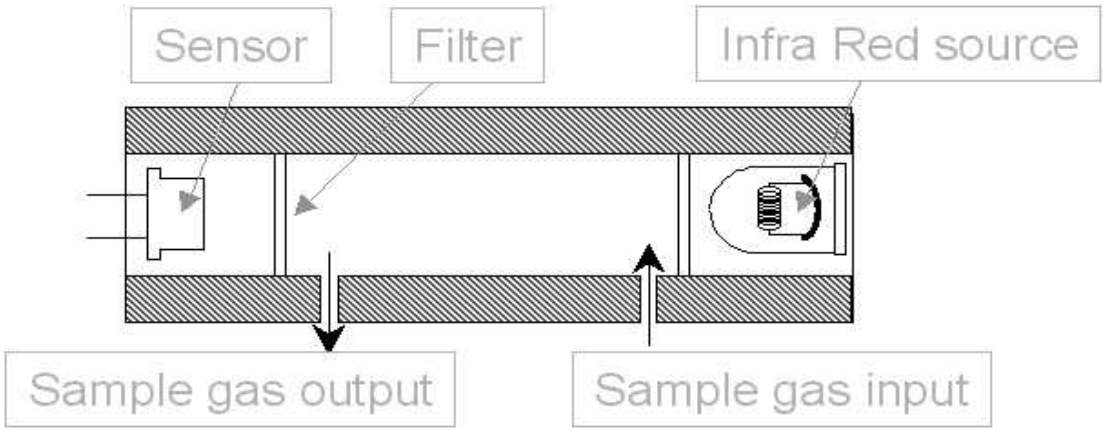


Figura 33: Espectrometria por Infra Vermelho (Infra Red)

### ***5.3.3.4. Ferrografia:***

Esta técnica de manutenção preditiva foi desenvolvida para aplicações militares pelo "Naval Air Engineering Center dos EUA" com a finalidade de aumentar a confiabilidade no diagnóstico de condições das máquinas. Esta técnica procurava superar as limitações de outras análises na identificação do mecanismo de desgaste dos componentes das máquinas. No ano de 1982 a Ferrografia foi liberada para o uso civil, sendo introduzida no Brasil no ano de 1988.

Os princípios básicos da Ferrografia são:

- **Toda máquina apresenta desgaste;**
- **O desgaste gera partículas;**
- **O tamanho e quantidade das partículas indicam a severidade do desgaste;**
- **A morfologia e o acabamento superficial das partículas indicam o tipo de desgaste.**

As Análises Ferrográficas podem ser divididas em dois grupos: Analítica e Quantitativa.

### **A. Exame Analítico:**

Permite a observação visual das partículas de desgaste, para que sejam identificados os tipos de desgastes presentes. A figura 34 mostra esquematicamente o procedimento para a preparação de um ferrograma para o exame analítico.

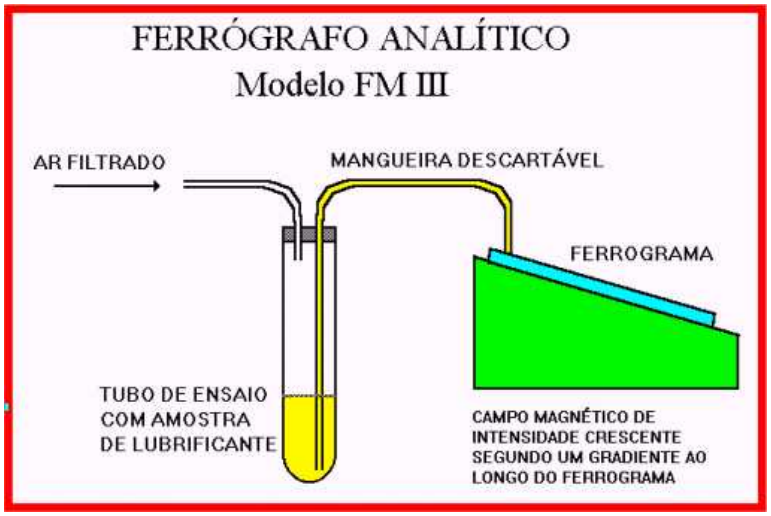



Figura 34: Preparação do Ferrograma para o Exame Analítico

No ensaio analítico as partículas são classificadas em função das suas características quando observadas no microscópio. Esta classificação pode ser:

- **pelo tipo: esfoliação, abrasão, corrosão, etc...**
- **pela forma: laminares, esferas, etc...**
- **pela natureza: óxidos, polímeros, contaminantes, orgânicas, etc...**

A figura 35 apresenta um exemplo de ***esfoliação***. Este é o tipo de desgaste mais comum. O tamanho das partículas pode variar de 5 a 15 microns. Tem a forma de flocos de aveia. Este tipo de partícula pode ser gerado sem o contacto metálico, mas apenas pela transmissão da força tangencial entre duas peças separadas por filme de lubrificante. A quantidade e o tamanho aumentará com a redução da espessura do filme que pode ser causada por: sobrecarga, diminuição da viscosidade do óleo, redução da velocidade da máquina, etc..

O desgaste por abrasão é apresentado na figura 36. Estas partículas são semelhantes a cavacos de torno com dimensões de 2 a centenas de microns. A principal causa para este tipo de desgaste é a contaminação por areia. Os pequenos grãos de areia ingeridos pela máquina se incrustam, por exemplo, num mancal de metal patente e o canto vivo exposto usina o eixo que está girando, tal qual um torno mecânico.

Figura 35: Exemplo de Esfoliação

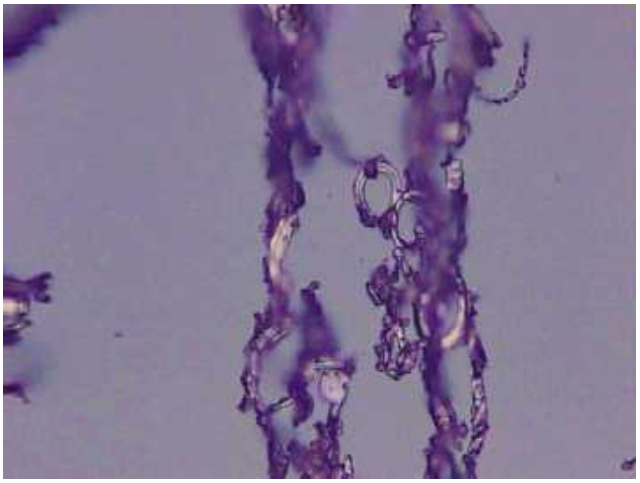


Figura 36: Exemplo de Abrasão

O resultado de um ferrograma analítico típico é apresentado na figura 37.

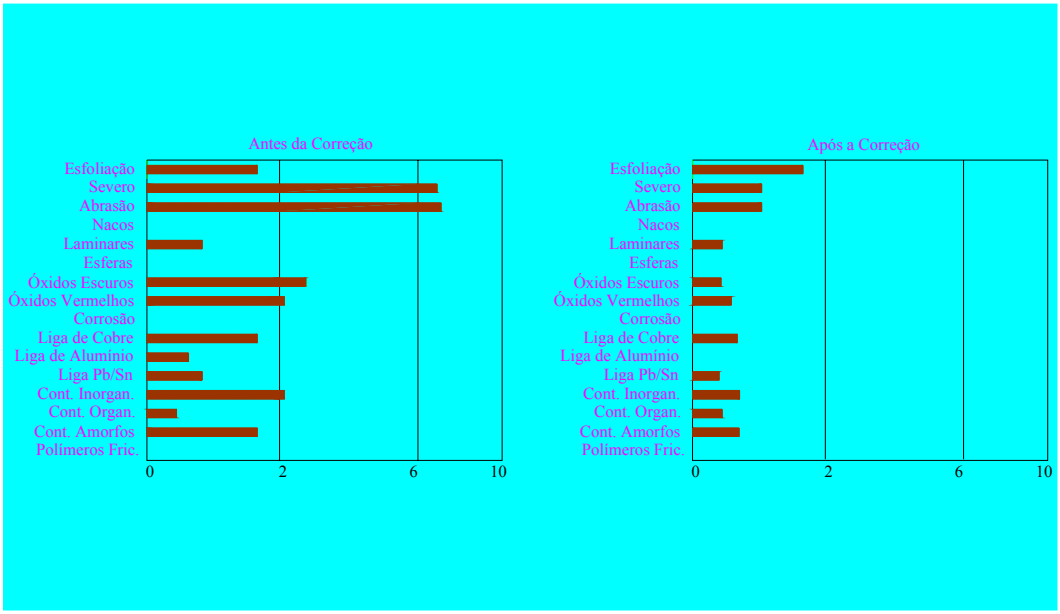



Figura 37: Exemplo de Ferrograma Analítico

**B. Exame Quantitativo:**

Este exame permite a classificação das partículas de acordo com o tamanho e a quantidade. O acompanhamento da evolução destes valores permite avaliar as condições de deterioração do equipamento.

Classificação das Partículas:

Large = L: maiores do que 5 microns
Small = S: menores ou iguais a 5 microns

Interpretações:

L + S = concentração total de partículas.
PLP = (L-S)(L+S)*100 = modo de desgaste
IS = $(L^2-S^2)$/diluição$^2$ = índice de severidade

A figura 38 apresenta o exemplo do acompanhamento das condições de um equipamento através da Ferrografia Quantitativa. Na condição A foi trocado o lubrificante da máquina, porém a análise em B ficou próxima do nível de alerta e as novas análises seguintes demonstraram a continuidade do aumento de partículas na amostra. Somente a troca do rolamento em C permitiu obter uma análise D dentro dos níveis normais.

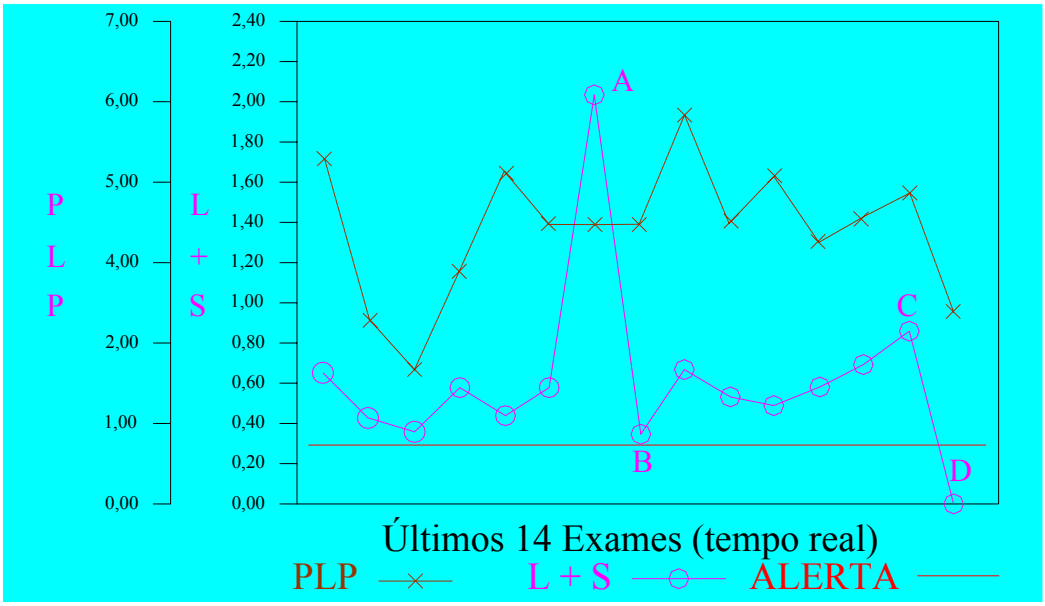



Figura 38: Exemplo de Acompanhamento pela Ferrografia Quantitativa

A seguir é apresentada uma comparação entre as Análise por Ferrografia e Espectrometria.

***Espectrometria:***

**•Vantagens:**

- Detecção de todas as partículas presentes: desgaste, componentes químicos (aditivos), contaminantes.
- Boa sensibilidade na detecção de partículas menores de 1 mícron.

**•Desvantagens:**

- Baixa sensibilidade na detecção de partículas superiores a 2 microns.
- Não distingue partículas quanto ao tamanho ou quanto à forma

***Ferrografia:***

**•Vantagens:**

- Detecção de partículas em ampla faixa de tamanhos: >2 a <50 microns.
- Distinção das partículas pelo tamanho e forma.
- Facilidade de análise das partículas segregadas.

**•Desvantagens:**

- Não detecta todos os elementos presentes na amostra.
- Baixa sensibilidade na detecção de partículas menores que 1 micron.

### *5.3.4. Mini Laboratórios para Análise do Lubrificante:*

Actualmente existem equipamentos portáteis que podem efectuar diversas análises do lubrificante até mesmo em campo. Estes equipamentos são conhecidos como mini-laboratórios, figura 39 e podem realizar ensaios como: *Viscosidade, Microscópio, Analisador Ferrográfico, Software de Análise, Partículas de Desgaste e Kit para Colecta de Amostras.*

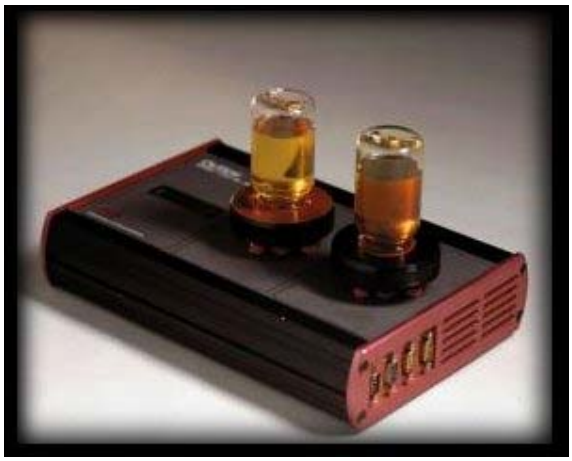


Figura 39: Mini-Laboratório para Análise de Óleo

### 5.4. Termografia – Análise da Temperatura:

A medição da temperatura consiste em uma técnica de manutenção utilizada desde o início do desenvolvimento industrial. A temperatura identifica a quantidade de calor presente nos equipamentos. Os níveis de temperatura podem indicar o estado de funcionamento e estabelecer os valores normais e anormais para operação.

Na década de 70 começaram a ser utilizados os sistemas infra-vermelho, permitindo o monitoramento da temperatura a partir da radiação. Esta técnica permitiu uma ampla utilização da medição da temperatura como técnica preditiva.

#### *5.4.1. Conceito de Temperatura:*

A temperatura de um corpo está diretamente relacionada com a energia cinética de suas moléculas.

As variações de temperatura podem ter origens diversas, tais como:

| | |
|---|---|
| **Mecânico** | **Atrito** |
| **Eléctrico** | **Efeito Joule** |
| **Químico** | **Combustão** |
| **Físico** | **Pressão** |
| **Atômico** | **Reação Nuclear** |

#### *5.4.2. Aplicações da Medição da Temperatura na Manutenção:*

A medição da temperatura é considerada uma técnica básica e essencial para o diagnostico de problemas com equipamentos no ambiente industrial. As variações de temperatura além dos limites admissíveis podem indicar sérios problemas, que podem ocasionar paradas de emergência em curto período de tempo com danos para os equipamentos e riscos de segurança para a instalação.

As principais aplicações da análise de temperatura como técnica preditiva na manutenção industrial são:

- Deficiência de lubrificação em mancais;
- Falhas em sistemas de transmissão mecânica;
- Anormalidades em sistemas eléctricos;
- Problemas com revestimentos refratários;
- Acúmulo de materiais em tubulações;
- Falha do isolamento térmico;
- Vazamentos.

### *5.4.3. Técnicas para a Medição da Temperatura:*

Os equipamentos utilizados na medição de temperatura são constituídos basicamente dos seguintes componentes:

- **Sensor: que pode ser com contato ou sem contato.**
- **Dispositivo para o tratamento do sinal do sensor.**
- **Dispositivo indicador da temperatura: pontual ou imagem.**

Os instrumentos para o monitoramento das condições de um equipamento através da temperatura permitem dois tipos de medição:

- Medição Localizada
- Imagem Termográfica

#### *5.4.3.1. Medição Localizada:*

A medição localizada permite *a identificação de um valor pontual da temperatura* por colecta . Os instrumentos para este caso são de fácil utilização.

Para aplicação deste método é muito importante identificar o ponto ideal para o monitoramento. Deve-se ressaltar que o uso isolado deste procedimento não é suficiente, na maioria das vezes, para a detecção e o diagnóstico dos problemas do equipamento de uma forma eficiente que venha a garantir a actuação da manutenção de forma preditiva. A simples medição da temperatura pode não identificar o problema no seu início, não garantindo uma possibilidade de programação de uma intervenção para a manutenção. Apesar de ser fundamental para a protecção dos equipamentos, a medição de temperatura deve ser complementada com outras técnicas de manutenção preditiva.

Os principais equipamentos para a medição localizada da temperatura são:

**(1) Instrumentos com Sensores com Contato:**

**a) Termopares:** Este instrumento já existe desde 1821 e utiliza como princípio de funcionamento o efeito Seebeck, que esta relacionado com a geração de uma diferença de potencial entre dois materiais submetidos a uma variação de temperatura. A faixa de medição destes instrumentos está entre –200 e 2000 $^{o}$C, de acordo com o par de materiais utilizados. O erro pode variar de +/- 0,5 a +/- 2,5 $^{o}$C.

**b) Termoresistores:** O funcionamento está na propriedade dos condutores alterarem sua resistência elétrica de acordo com a variação da temperatura. São conhecidos como PTC's, ou seja, coeficiente de dilatação térmica positiva. O sensor utiliza um único material, os mais utilizados são a Platina o Níquel e o Cobre. O mais conhecido é o Pt 100, que utiliza a Platina com 100Ω (0$^{o}$C). A

faixa de medição destes instrumentos é de –200 a 850 $^{o}$C e o erro não supera +/- 1 $^{o}$C na maior parte da faixa de medição. Este instrumento é superior ao termopar.

**c) Termistores:** Utilizam a propriedade dos semicondutores variarem a sua resistência com a variação da temperatura. São conhecidos como NTC's, coeficiente de dilatação térmica negativa. Utilizam a mistura de diversos materiais em sua fabricação. A faixa de medição é de –250 a 200 $^{o}$C e a precisão é de +/- 0,25 $^{o}$C, podendo sofrer influência do meio onde aplicado. Este instrumento é utilizado em locais que exigem a medição de pequenas variações da temperatura.

**(2) Instrumentos com Sensores sem Contato:**

Estes instrumentos utilizam sensores que medem a radiação térmica emitida pelos corpos. O nome mais comum para estes aparelhos é radiômetro. Actualmente existe uma grande diversidade de modelos disponíveis no mercado de instrumentos. A sua faixa de medição depende do modelo utilizado, podendo variar entre –32 e 2000 $^{o}$C. A precisão também irá depender do modelo e faixa de uso, estando na maior faixa da aplicação em +/- 1 $^{o}$C.

O uso deste aparelho é bastante simples, porém alguns detalhes de utilização devem ser conhecidos, para evitar grandes erros na sua utilização. Os principais factores que devem ser verificados para uma correcta utilização destes instrumentos são:

- **Princípio de Funcionamento do Radiômetro:** O radiômetro captura a energia emitida por qualquer objeto aquecido através de ondas infravermelho. O infravermelho faz parte do espectro de radiações eletromagnéticas, tais como: ondas de rádio, raio gama, ultravioleta, raio X, luz visível e microondas. Na prática as ondas na faixa de 0,7 a 14 microns indicam a temperatura do objeto. A figura 40 apresenta uma descrição das faixas de frequência da ondas eletromagnéticas.

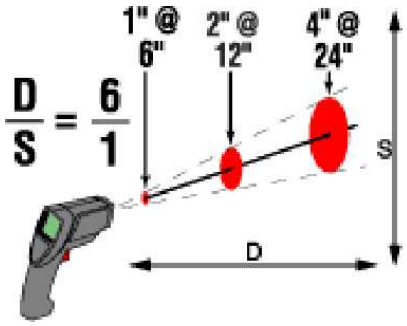
Figura 40: Espectro de Ondas Eletromagnéticas (Frequently Asked Questions – Raytek)

- **Ajuste de Emissividade:** A emissividade mede a capacidade de um objeto emitir a energia infravermelho. A emissividade varia desde 0 (espelho) até 1,0 (corpo negro). Grande parte das superfícies revestidas ou oxidadas possuem emissividade de 0,95. Muitos aparelhos possuem o ajuste de emissividade, que pode ser selecionada antes da medição, corrigindo automaticamente os valores da temperatura de acordo com as características da superfície medida. Os aparelhos que não possuem este ajuste necessitam que a superfície medida seja revestida com um produto opaco antes da medição ou através do uso de uma tabela de correcção. A seguir é apresentado o valor de emissividade de alguns materiais.

| Material | Emissividade |
|---|---|
| Aço | 0,8 |
| Alumínio | 0,03 a 0,3 |
| Cobre | 0,95 |
| Concreto | 0,95 |

Tabela 4: Valores de Emissividade

- **Distância Para a Leitura:** A resolução óptica é a característica que define o campo de utilização do radiômetro, conforme apresentado na figura 41. A área de interesse para a medição deve estar dentro da capacidade de resolução do aparelho, conforme apresentado na figura 42.



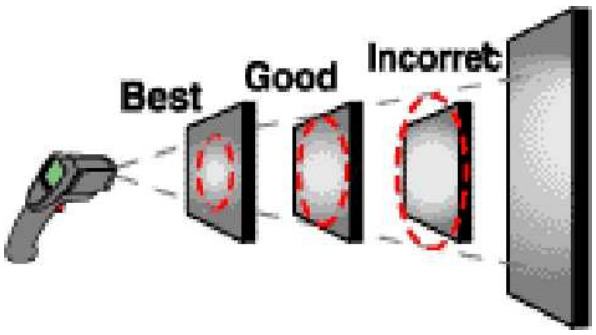




Figura 41: Resolução Óptica Figura 42: Área de Medição do Sensor
(Figuras obtidas no "site" da Raytek Automation Division)

- **Condições Ambiente:** Alguns factores no local de medição podem afetar a medição para este tipo de instrumento. Vapores, sujeira e fumaça podem afetar a qualidade da leitura devido a obstrução do sensor óptico. Ruído, campo eletromagnético, vibrações e outras condições adversas podem interferir na medição, devendo ser evitado. Os equipamentos podem ter acessórios para minimizar estes efeitos, devendo ser consultado o manual do fabricante.

- **Temperatura Ambiente:** Os radiômetros têm limitações com relação à temperatura de exposição do aparelho. As variações bruscas de temperaturas no local de medição podem exigir intervalos de medição para garantir a calibração do aparelho às novas condições ambiente.

Requisitos adicionais devem ser verificados nos catálogos e manuais dos aparelhos utilizados para a medição.

### *5.4.3.2. Imagem Termográfica:*

A Termografia Infravermelho é uma aplicação dos instrumentos de detecção infravermelho para identificação de imagens com diferentes temperaturas **(termogramas)**. Os instrumentos para a geração da imagem termográfica seguem conceitos semelhantes aos utilizados pelos radiômetros. Devido às facilidades de utilização destes instrumentos na detecção de diferenças de temperaturas em grandes superfícies esta técnica possui vasta aplicação nos ambientes industriais. Estes aparelhos são divididos em dois grupos: detecção de energia de radiação de ondas curtas **(3 a 5 microns)** e aparelhos de detecção de ondas longas **(8 a 15 microns)** (ver figura 40). Os aparelhos

para a detecção das ondas curtas são mais recomendados devido à variedade de aplicações **(elétricas, mecânicas e estruturais)**. Entretanto, os aparelhos de ondas curtas são mais sensíveis aos raios solares, devendo ser tomadas precauções no uso em ambientes externos. Os aparelhos podem gravar imagens para análises posteriores.

A termografia pode ser utilizada para leituras qualitativas ou quantitativas. A leitura qualitativa permite identificar de forma eficaz a diferença de temperatura entre pontos de um equipamento, podendo ser muito útil para a identificação de vazamentos, entupimentos de tubulações, sobrecarga em circuitos eléctricos, falhas de isolamentos eléctricos, desgaste em revestimentos refratários, deficiência de funcionamento em mancais e transmissões, deficiência de isolamentos térmicos e outras aplicações relacionados com as diferenças de temperatura.

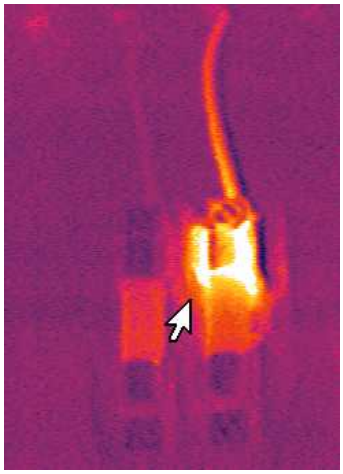


Figura 43: Aquecimento em Fusível

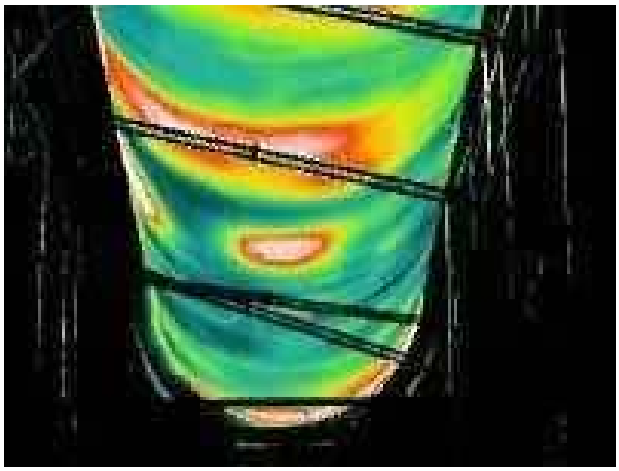


Figura 44: Avaliação do Revestimento Refratário de Forno

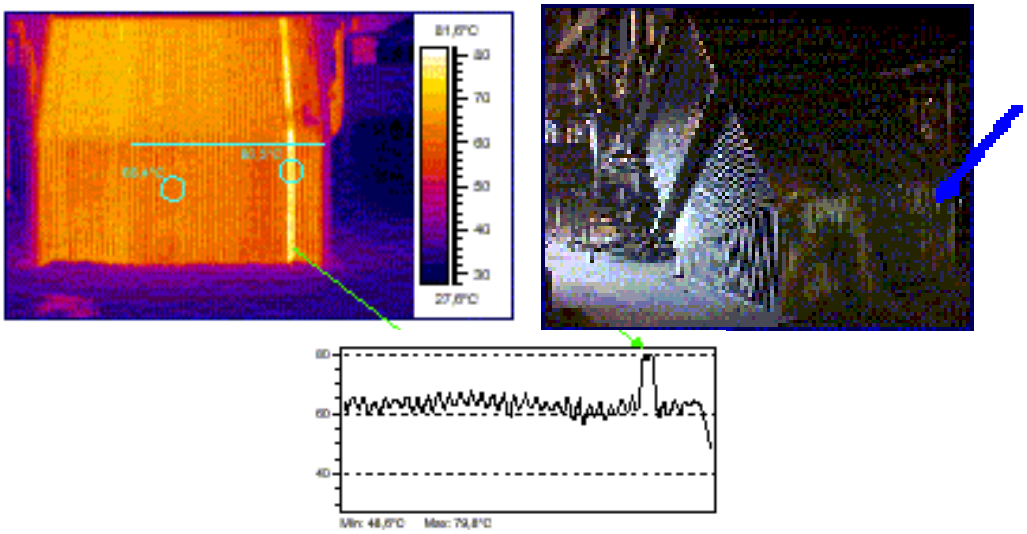


Figura 45: Detecção de Entupimento em Tubulação de Água de Resfriamento de Chaminé

Para a leitura quantitativa através da termografia é necessária uma maior precisão na medição. Este tipo de leitura normalmente não é necessária, pois a identificação de pontos com divergência de temperatura é feita através de comparação de níveis na própria imagem. Para obtenção de leituras com precisão é necessário um perfeito conhecimento das propriedades da

região analisada, como por exemplo: potência radiante, reflexão, emissividade, factores ambientais e limitações do aparelho utilizado.

A utilização da termografia normalmente exige pessoal qualificado. Considerando os elevados custos dos aparelhos utilizados e a constante necessidade de atualização dos equipamentos, na maioria das empresas este serviço é contratado de firmas especializadas. A figura 46 apresenta um conjunto completo de equipamentos utilizados para a análise termográfica: Câmera Infravermelho, Coletor de Dados, Radiômetro, Programa de Análise e Cinto para Transporte.

Figura 46: Equipamento para Análise Termográfica

## 5.5. Ensaios Não Destrutivos – END:

De acordo com a **Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos, ABENDE**, **os Ensaios Não Destrutivos (END)** são definidos como testes para o controle da qualidade, realizados sobre peças acabadas ou semi-acabadas, para a detecção de falta de homogeneidade ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados.

Constituem uma das principais ferramentas do **Controle da Qualidade** e são utilizados na inspeção de *produtos soldados, fundidos, forjados, laminados*, entre outros, com vasta aplicação nos sectores **petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, naval, autopeças e transporte rodo-ferroviário.**

### *5.5.1. Aplicações e Requisitos dos END's:*

O método a ser utilizado depende das propriedades físicas do material. Um conhecimento geral dos métodos de **END** disponíveis é necessário para a selecção do método adequado.

Algumas situações típicas em que os ensaios não destrutivos são aplicados:

- Prevenção de acidentes;
- Redução de custos
- Melhorar a confiabilidade de produtos;
- Definir níveis de qualidade através de normas e critérios de aceitação;
- Fornecer informações para reparo e recuperação de peças;

Para obter resultados válidos, os seguintes tópicos devem ser observados:

- Utilizar pessoal treinado e qualificado;
- Definir procedimento para conduzir o ensaio;
- Utilizar método para anotar os resultados;
- Aplicar uma norma para interpretar os resultados.

### *5.5.2. Principais END's:*

Os Ensaios Não Destrutivos mais utilizados são:

- Inspeção Visual
- Dureza
- Líquido Penetrante
- Partículas Magnéticas
- Ultra-som
- Radiografia
- Emissão Acústica
- Correntes Parasitas

A seguir são apresentadas as principais características destes ensaios:

#### *5.5.2.1. Inspeção Visual:*

Inspeção visual é um **END** largamente utilizado para avaliar as condições de um componente ou equipamento durante actividades de fabricação ou manutenção. É de fácil execução, de baixo custo e comumente não requer equipamento especial.

Pode ser utilizado no controle de qualidade de peças **(fundidas, forjadas, usinadas, etc)** e na manutenção de equipamentos. É comumente utilizada na inspeção de juntas soldadas e nos processos de recuperação, onde uma rápida detecção e correcção de defeitos significa grande economia. É considerado um método primário nos programas de controle de qualidade. A Inspeção Visual requer boa visão, boas condições de iluminação e experiência no reconhecimento de defeitos. Alguns equipamentos auxiliares também podem ser usados tais como, lupas de pequeno aumento, boroscópio, câmeras de televisão, etc.

Figura 47: Boroscópio Flexível

A Figura 47 apresenta um tipo de Boroscópio Flexível. Estes equipamentos podem visualizar furações de diâmetro mínimo de 6mm e com profundidades de até 2 metros.

### *5.5.2.2. Dureza:*

A dureza é uma propriedade mecânica muito importante para o bom desempenho de inúmeros componentes: engrenagens, eixos, alojamentos, rolamentos, buchas, etc.

A medição da dureza é relativamente simples e não exige equipamentos sofisticados e pessoal especializado.

A dureza é utilizada no controle de peças novas e peças em uso; podendo fornecer informações para o controle de qualidade e nos serviços de manutenção dos equipamentos.

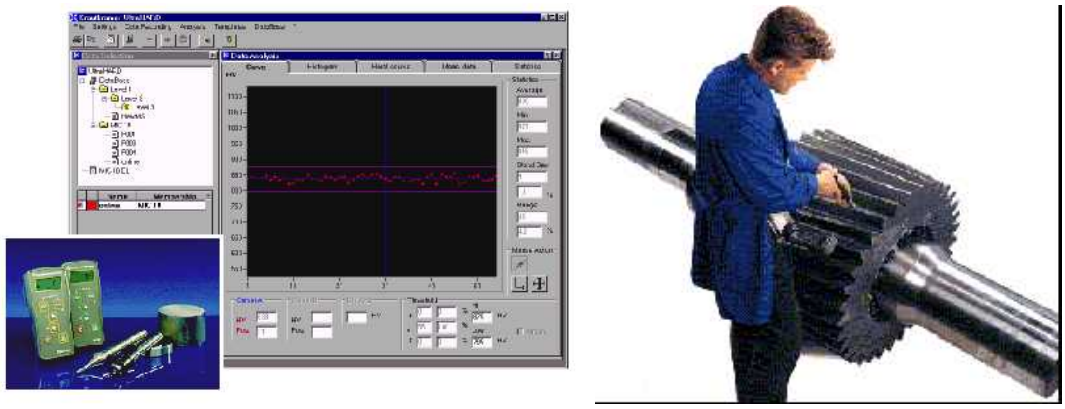


Figura 48: Instrumento para Medição de Dureza

### *5.5.2.3. Líquido Penetrante:*

É um método de ensaio não destrutivo para a detecção de descontinuidades abertas na superfície de materiais sólidos e não porosos. Esta técnica permite a inspeção de grandes superfícies de forma simples e boa eficiência para a maioria das aplicações industriais.

Inicialmente a superfície de teste deve ser submetida a uma limpeza, a seguir o líquido penetrante **(magenta ou fluorescente)** é aplicado através de spray na superfície onde se deseja inspecionar, este líquido tem a propriedade de penetrar nas descontinuidades. Após um determinado tempo de penetração o excesso é removido com um pano e água ou com solvente apropriado. Posteriormente o revelador (normalmente branco) também é aplicado através de spray, sendo que este tem a propriedade de provocar o vazamento do líquido penetrante que ficou dentro das falhas, permitindo a visualização de trincas, descontinuidades e defeitos superficiais. É essencial que antes do teste o material seja cuidadosamente limpo, de outra maneira será impossível que o líquido penetre no defeito.

Os defeitos devem ser identificados para que sejam reparados e os resíduos de líquido penetrante e revelador devem ser removidos.

### *5.5.2.4. Partículas Magnéticas:*

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado na localização de descontinuidades superficiais e sub-superficiais de materiais ferromagnéticos. Esta técnica é amplamente utilizada para o controle de áreas soldadas e particularmente em locais sujeitos a elevadas tensões e cargas cíclicas **(fadiga)**.

O método consiste em submeter a peça, ou parte desta, a um campo magnético. Na região magnetizada da peça as descontinuidades existentes irão causar um campo de fuga do fluxo magnético. Com a aplicação de partículas magnéticas sobre a superfície da peça ocorre a aglomeração destas no campo de fuga, uma vez que serão atraídas devido ao surgimento de pólos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização da localização e do formato da descontinuidade.

A grande vantagem do ensaio por partículas magnéticas esta na facilidade de manuseio do equipamento (portátil) e agilidade para a execução do ensaio. O equipamento não coloca em risco o operador e tem a facilidade de detectar defeitos em diferentes direções, bastando variar a direcção dos eletrodos que geram o campo magnético. O ensaio pode ser fotografado e a análise deve ser feita por um inspetor experiente.

### *5.5.2.5. Ultra-Som:*

O uso da detecção de ondas ultra-sônicas apresenta uma grande aplicação para a realização de ensaios não destrutivos. Esta técnica é utilizada para detectar defeitos, medir espessuras ou caracterizar materiais. Dispositivos especiais, chamados transdutores, permitem captar esta onda de alta frequência, refletindo-se cada vez que encontra uma descontinuidade.

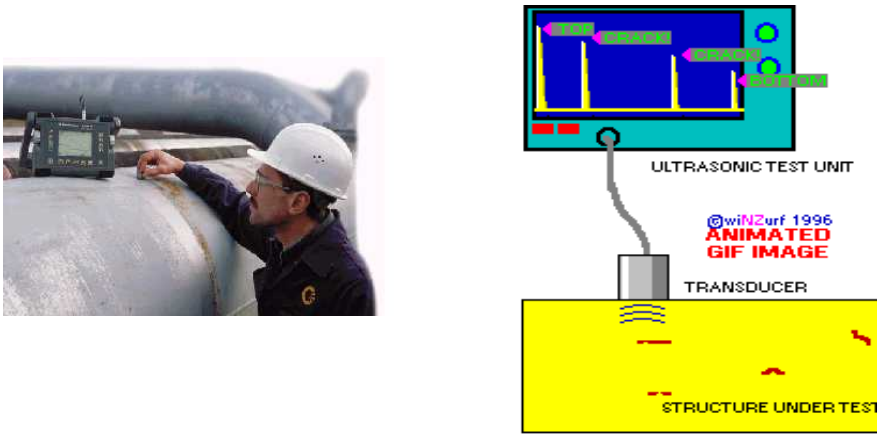



Figura 49: Representação de um Ensaio Utilizando um Aparelho de Ultra Som

As principais aplicações estão na inspeção de soldas, avaliação do efeito da corrosão, detecção de defeitos laminares em chapas planas. Este ensaio é muito utilizado nos sectores petroquímico, siderúrgico, naval, aeronáutico e nuclear. Este método pode substituir na maioria das aplicações a utilização da radiografia, com a vantagem de não expor o operador a nenhum tipo de risco.

Devido a sua complexidade o ensaio por ultra-som exige um inspetor de bom nível técnico com treinamento e certificação por entidade especializada.

O ultra-som também pode ser utilizado na medição de espessura de chapas onde não é permitida a medição direta, como por exemplo em tubulações, tanques, vigas, etc. A espessura é um importante parâmetro para a manutenção, pois esta medida pode definir a vida útil remanescente de muitos componentes de equipamentos e estruturas. O controle da espessura é importante para a segurança do pessoal e do equipamento. A redução da espessura dos equipamentos pode ocorrer por factores como: corrosão, erosão, abrasão e outros factores operacionais.

A identificação da redução da espessura pode permitir a tomada de ações para reduzir o processo e também permitir o melhor planejamento da manutenção.

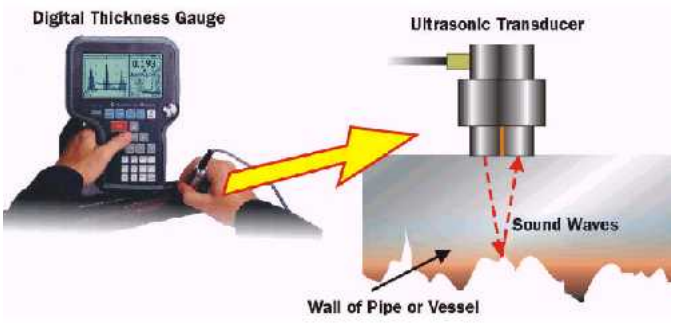



Figura 50: Representação do Teste por Ultra-Som no Controle de Espessura

Alguns aparelhos vem sendo utilizados na detecção de falhas em equipamentos através da captação de ondas ultra-sônicos. Estes instrumentos podem ser utilizados inclusive para a identificação de falha de lubrificação em componentes como rolamentos, efeito corona em subestações elétricas e vazamentos em válvulas e tubulações de difícil acesso. A figura 51 apresenta um exemplo desta aplicação.

Figura 51: Aparelho de Captação de Ultra-Som com Exemplo de Aplicação

## 5.5.2.6. Radiografia:

A denominação Radiação Penetrante teve origem na propriedade de que certas formas de energia radiante possuem de atravessar materiais opacos à luz visível. Podemos distinguir dois tipos de radiação penetrante usadas em radiografia industrial: os Raios X e os Raios Gama. Eles se distinguem da luz visível por possuírem um comprimento de onda extremamente curto (figura 40), o que lhes dá a capacidade de atravessarem materiais que absorvem ou refletem a luz visível. Por serem de natureza semelhante à luz, os Raios X e Raios Gama possuem uma série de propriedades em comum com a luz, entre as quais podem ser mencionadas: mesma velocidade de propagação (300.000 km/s), deslocam-se em linha reta, não são afetadas por campos eléctricos ou magnéticos, possuem a propriedade de impressionar emulsões fotográficas.

Existem outras propriedades comuns entre as radiações penetrantes e a luz visível. Ocorre, no entanto, que vários fenômenos que observamos na luz, são muito difíceis de serem detectados. O fenômeno de refração, por exemplo, ocorre nas radiações penetrantes, mas numa escala tão pequena que são necessários instrumentos muito sensíveis para detectá-lo. Isso explica porque a radiação penetrante não pode ser focalizada através de lentes, como acontece com a luz visível.

A detecção de defeitos internos dos materiais pode ser feita com excelente precisão através do Raio X e do Raio Gama. Dependendo da capacidade da fonte radioativa estes ensaios podem permitir a visualização de defeitos em materiais de grande espessura. A radiografia permite a produção de imagens que identificam com precisão a localização e o tamanho dos defeitos. Esta imagem fica registrada em um filme fotográfico, que é colocado do lado oposto da peça em relação à fonte de emissão radioativa no momento da execução do teste.

Devido a grande precisão deste ensaio, os custos de reparo podem ser reduzidos em função da redução de tempo na remoção e correcção dos defeitos. Porém, os riscos devido à radioactividade e a necessidade de inúmeros cuidados de protecção, tornam a aplicação deste ensaio limitada. Além disso o custo do equipamento é muito elevado e exige pessoal especializado.

O uso do Raio X ou Raio Gama é muito comum em instalações fixas de controle de medidas em processos de laminação. No campo do controle de defeitos em peças e juntas soldadas este ensaio é exigido em equipamentos de alto risco, como por exemplo em instalações nucleares e vasos de pressão.

### ***5.5.2.7. Emissão Acústica:***

A emissão acústica é o fenônemo que ocorre quando uma descontinuidade é submetida á solicitação térmica ou mecânica. Uma área contendo defeitos é uma área de concentração de tensões que, uma vez estimulada por um esforço externo, origina em uma redistribuição de tensões localizada. Este mecanismo ocorre com a liberação de ondas de tensão na forma de ondas mecânicas transientes. A técnica de E.A. consiste em captar esta perturbação no meio, através de transdutores piezoeléctricos distribuídos de forma estacionária sobre a estrutura. Estes receptores passivos, estimulados pelas ondas transientes, transformam a energia mecânica em elétrica sendo os sinais digitalizados e armazenados para futura análise através de parâmetros estabelecidos.

Este método detecta as descontinuidades nos estágios iniciais e permite que toda a superfície do equipamento em teste seja testada em um único ensaio. A inovação desta técnica está na possibilidade de realizar o teste com o equipamento em operação.

O ensaio por emissão acústica necessita, então, que o material ou equipamento a ser ensaiado seja solicitado termicamente ou mecanicamente, a fim de ativar as fontes de emissão acústica caracterizada pelas descontinuidades (defeitos). Se o nível de tensão aplicado ao material ou equipamento não for o suficiente para ativar as fontes, o método considera os defeitos não críticos, ou seja , aceitáveis. Entre suas aplicações podemos citar teste em tubulações, tanques, estruturas de fibras de vidro, máquinas rotativas e monitoramento de soldas.

A figura 52 apresenta uma simulação de um ensaio por emissão acústica. A ativação do defeito causa uma redistribuição de tensões no material provocando a liberação de ondas de tensão na forma de ondas mecânicas transientes, que podem ser captadas pelos sensores piezoeléctricos instalados na superfície da peça. O posicionamento dos sensores permite localizar a região onde está localizado o defeito. Posteriormente, um ensaio de ultra-som pode identificar de forma mais precisa o posicionamento e dimensões do defeito.

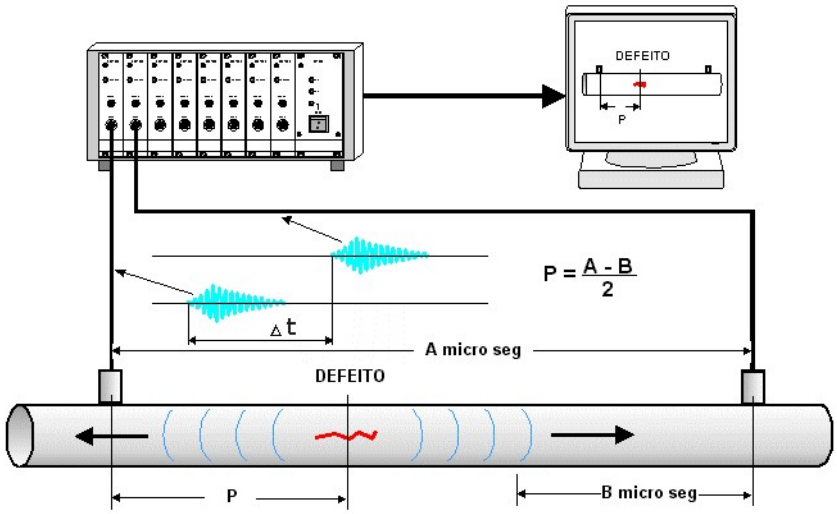



Figura 52: Simulação de um Ensaio por Emissão Acústica

Figura 53: Exemplo de Aplicação na Detecção de Defeito em Grandes Estruturas

A grande vantagem deste ensaio está na possibilidade de analisar equipamentos de grandes dimensões efetuando uma localização preliminar das regiões com defeitos. Posteriormente, ensaios localizados poderão identificar com precisão os locais com defeitos e definir a criticidade destes defeitos.

### *5.5.2.8. Correntes Parasitas:*

A inspeção por correntes parasitas, também conhecida como correntes de Foucault ou do inglês “eddy currents”, é uma técnica de inspeção não destrutiva baseada na introdução da corrente elétrica no material a inspecionar e observação na interação entre a corrente e o material.

As correntes parasitas são geradas por meio de bobinas eletromagnéticas, localizadas na sonda ou bobina de inspeção, que têm impedância continuamente monitorada. Como se trata de um ensaio que emprega indução eletromagnética, não necessita de contato entre a sonda e a peça, requerendo apenas, que o material seja condutor eléctrico. Os defeitos da peça provocam a distorção das correntes parasitas que alteram a impedância da bobina que pode ser detectada pelo aparelho, permitindo a localização dos defeitos.

A inspeção por correntes parasitas é uma técnica de múltiplas aplicações, sendo utilizada principalmente em materiais delgados.

### *5.5.2.9. Teste Hidrostáctico:*

O Teste Hidrostáctico é utilizado para a identificação de defeitos em reservatórios pressurizados. Este teste faz parte de um dos requisitos de segurança para a liberação operacional de equipamentos como caldeiras e vasos de pressão **(Ver NR13 – Caldeiras e Vasos de Pressão).**

Para a execução do teste o recipiente do equipamento a ser testado é completamente preenchido com água. A pressão de teste normalmente não ultrapassa em 1,5 a pressão nominal de operação. Para a pressurização do sistema normalmente é utilizado um compressor de ar. Após atingir a pressão de teste o equipamento deve passar por um período de observação para a avaliação da estanqueidade. Este período pode ser de até 24 horas. Durante a avaliação do teste deve ser monitorada a pressão. Caso seja observada a queda da pressão, devem ser identificados os vazamentos e posteriormente efectuado o reparo. O teste deve ser repetido até eliminação de todos os defeitos.

A realização do teste de hidrostáctico deve ser feita com pessoal habilitado e que tenha conhecimento da metodologia do teste e das condições do equipamento. A figura 54 apresenta um acidente ocorrido durante a execução de teste hidrostáctico devido à falta de avaliação das condições do equipamento para os esforços existentes durante a realização deste tipo de ensaio.

Figura 54: Colapso de uma Esfera de GLP durante Teste Hidrostáctico

## 5.6. Análise de Motores Eléctricos:

Actualmente existem muitas técnicas de monitoramento destinadas à manutenção de equipamentos eléctricos. Alguns métodos aplicados aos equipamentos mecânicos também são utilizados para equipamentos eléctricos, como por exemplo à análise óleo para transformadores, a termografia em painéis eléctricos e linhas de transmissão e o ultra-som para detecção do efeito corona.

A tecnologia de análise de motores eléctricos foi desenvolvida para atender o grande número destes equipamentos existentes nas indústrias. Esta análise utiliza alguns parâmetros de monitoramento comuns aos demais equipamentos e outros específicos para os motores eléctricos. A análise pode ser local, através de colecta de dados ou monitoramento contínuo.

A seguir são apresentadas as principais análises aplicadas aos motores eléctricos.

### *5.6.1. Temperatura:*

Os motores eléctricos estão sujeitos a variações de temperatura devido às alterações da carga de trabalho e das condições do ambiente.

A temperatura normal de trabalho é definida pela expressão:

$$T_n = \frac{T_{pt} - T_{amb}}{\%Load} \times 100$$

$T_n$ = Temperatura normal de operação
$T_{pt}$ = Temperatura no ponto de medição
$T_{amb}$ = Temperatura ambiente
%Load = % da carga total no momento da medição

As causas mais comuns do aquecimento dos motores eléctricos são: sobrecarga, falhas dos mancais, desalinhamento, restrição na ventilação, problemas com alguma fase, temperatura ambiente elevada, número de ciclos excessivo, oscilação na alimentação elétrica e falhas no enrolamento.

### *5.6.2. Análise da Corrente do Motor:*

Esta análise é utilizada para detectar rompimento de barras do rotor e desbalanceamento de corrente. A medição serve como referência para análise do fluxo.

A principal dificuldade deste tipo de medição é a necessidade de acessar o painel eléctrico. As leituras devem ser efectuadas por eletricista especializado.

Este tipo de acompanhamento consegue identificar apenas 10% de problemas com motores eléctricos.

### *5.6.3. Análise de Fluxo:*

Esta análise utiliza uma leitura de referência do fluxo. Permite detectar barras rompidas, falhas no estator, desbalanceamento de voltagem e variações de rotação. Para a medição é utilizado um sensor de fluxo montado na parte externa do motor. Existem instrumentos onde a leitura é feita pelo próprio analisador de vibração (coletor de dados). A execução é mais simples em relação à análise da corrente. O ponto de medição deve ser sempre o mesmo.

A análise de fluxo possui várias vantagens em relação à análise de corrente: permite identificar todos os problemas de uma análise de corrente, não precisa acessar os painéis eléctricos, não efetua leituras em circuitos energizados, não necessita um eletricista especializado e normalmente é efectuado em conjunto com as medidas de vibração do motor.

Figura 55: Motor Eléctrico com Analisadores de Fluxo

### *5.6.4. Descarga Elétrica pelo Eixo:*

Quando o nível de tensão do eixo da máquina atinge determinado valor, pode ocorrer passagem de corrente para a base da máquina. Normalmente a descarga elétrica do eixo para a fundação ocorre através do mancal da máquina. No ponto de passagem da corrente ocorrem microsoldas nas superfícies dos mancais. A superfície apresenta defeitos característicos, tais como: derretimento localizado e riscos longitudinais nas pistas do rolamento.

Figura 56: Anallisador de Vibração com Sensor para Análise de Passagem de Corrente pelo Eixo

Da mesma forma que a análise de fluxo, o sensor do eixo utiliza o próprio analisador de vibração para a leitura e diagnóstico. O uso deste sensor permite reduzir o número de falhas dos rolamentos.

Figura 57: Evolução do defeito do Rolamento devido a Passagem de Corrente Elétrica

Para eliminar a passagem de corrente elétrica com o motor em funcionamento devem ser tomadas medidas para o isolamento dos mancais ou aterramento do eixo.

## 5.7. Análise de Tensões:

A utilização da análise de tensões, também conhecida como extensiometria, na manutenção apresenta algumas limitações devido a grande dificuldade de manuseio e instalação dos sensores. Actualmente o principal tipo de sensor utilizado para este tipo de análise é o extensômetro **("Strain Gage")**. Esta técnica é muito difundida nos ensaios de protótipos e na confecção das células de carga utilizadas em balanças.

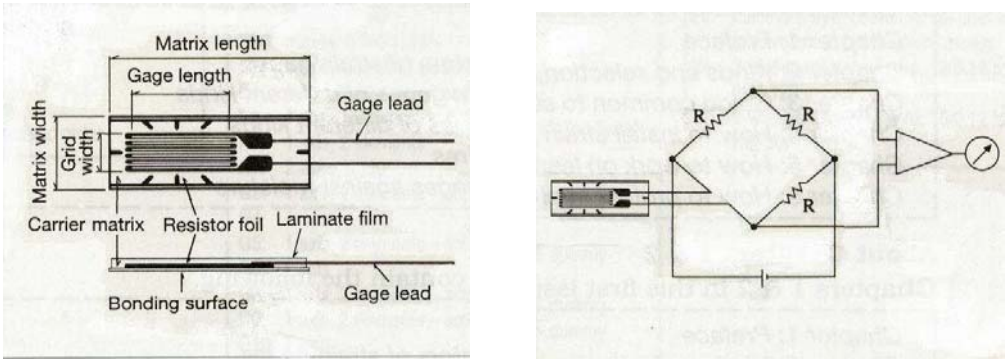



Figura 58: Extensômetro (esquerda) e Ligação em Ponte (direita)

A maior utilização deste método de análise, que teria ampla aplicação na manutenção dos equipamentos, depende do desenvolvimento de novas tecnologias para facilitar a sua aplicação.

As principais aplicações da análise de tensões são:

- Análise de esforços em equipamentos.
- Medição de torque em transmissões mecânicas (figura 59).
- Células de carga para aplicações diversas.
    - Pesagem (figura 60).
    - Medição de nível em reservatórios.
    - Esforços em laminadores.
    - Construção civil (Pontes, Estradas, Túneis, etc).

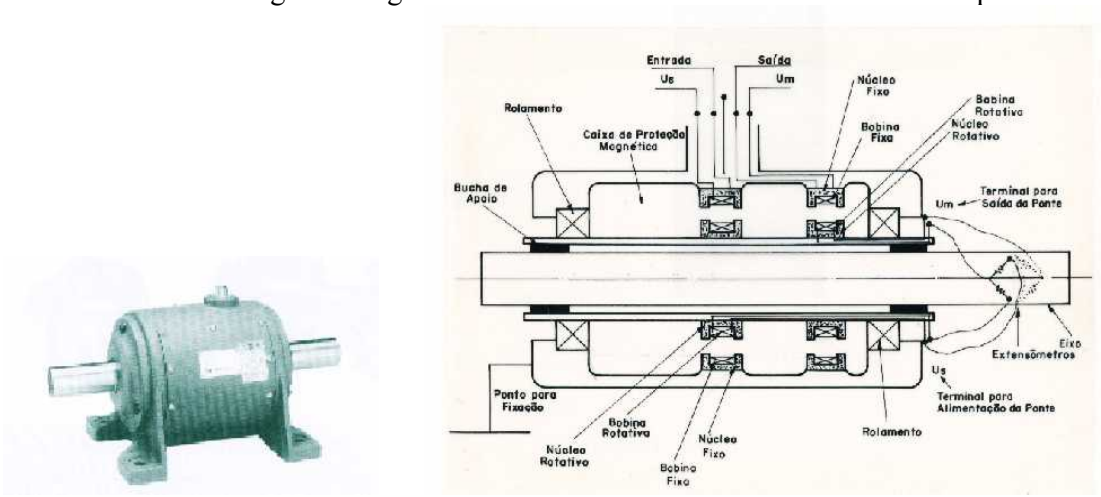



Figura 59: Instrumento para Medição de Torque

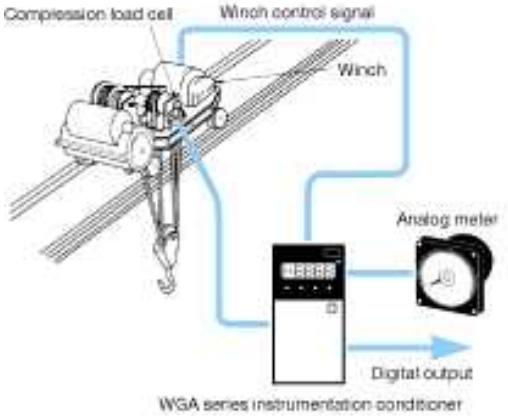



Figura 60: Medição de Carga em Ponte Rolante

## 6. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO:

A prevenção dos potenciais de falha das máquinas é necessária para a segurança e confiabilidade operacional das instalações industriais. A constante auditoria dos processos de especificação, selecção, verificação e projecto são importantes para alcançar níveis satisfatórios de prevenção. Quando uma falha acontece, a definição correcta da **"causa original"** é um pré-requisito para a prevenção de novas falhas.

Actualmente existem inúmeras publicações que apresentam metodologias para a análise de falha de diversos componentes. Apesar de ser praticamente impossível definir todos os mecanismos de falhas dos equipamentos modernos, a aplicação das técnicas de análise descritas neste capítulo podem ser utilizadas em todas as situações. Uma metodologia padrão de análise de falha e solução de problemas é muito importante porque a experiência demonstra que a maioria dos problemas que ocorrem frequentemente nos equipamentos nunca são definidos suficientemente; eles são simplesmente **"solucionados"** ou **"superados"**. As pressões da produção são maiores do que a necessidade de análise, e o problema pode voltar a acontecer pois a causa não foi identificada e também não foi eliminada.

As paradas do equipamento e o risco de falha podem ser reduzidos somente se os problemas potenciais são antecipados e evitados. Frequentemente esta condição não é alcançada com a utilização dos métodos tradicionais de análise. Neste caso é apropriada a utilização de outros métodos para prevenir e reduzir as consequências dos danos às instalações, equipamentos e pessoal. Este objectivo pode incluir, entre outros métodos, a aplicação de componentes redundantes e utilização da técnica de análise por circuito de inspeção automática, para sistemas eléctricos/eletrônicos.

A engenharia de manutenção tem como objectivo definir os níveis aceitáveis de parada dos equipamentos, incluindo as falhas admissíveis. Para alcançar estes níveis, a engenharia de manutenção deve estar preparada para a análise dos desvios, utilizando métodos eficientes de análise de falha e solução de problemas.

A actuação da engenharia de manutenção deve sempre objetivar a prevenção das falhas indesejáveis utilizando meios para antecipar, otimizar e inovar.

A ação de antecipar significa Actuar antes que a falha provoque uma parada em emergência. Esta forma de evitar a falha utiliza as ferramentas de identificação dos sintomas da falha em estágio prematuro, permitindo a programação da manutenção.Alguns sintomas característicos da falha, como por exemplo: vibração, temperatura ou desgaste podem ser monitorados com equipamentos e técnicas apropriados.A manutenção atua de forma programada.

A ação de otimizar significa Actuar nas falhas repetitivas melhorando projecto e procedimentos de manutenção com objectivo de aumentar o desempenho esperado para o equipamento. A otimização deve utilizar as novas tecnologias, normalmente estas tecnologias não estavam disponíveis na instalação do equipamento original e o desenvolvimento foi estimulado justamente para melhorar o desempenho devido às falhas típicas.

A ação de inovar significa Actuar nas falhas repetitivas em que os métodos convencionais de projecto e procedimentos de manutenção não garantem o desempenho esperado. A inovação normalmente é determinada pelos seguintes factores:

**- As falhas ocorrem em intervalos inferiores à possibilidade de ações preventivas;**

**- Dificuldade de identificação da falha;**

**- A intervenção para a manutenção é muito complexa.**

### 6.1. Análise de Falha e Solução de Problemas:

Durante muitos anos, o termo "análise de falha" estava diretamente relacionado com as actividades da mecânica da fratura e análise de falha por corrosão, utilizada principalmente para os equipamentos estácticos. A figura 61 mostra um roteiro com os passos necessários para a análise de falha de materiais. O método a ser utilizado na análise de falha dos equipamentos possui características semelhantes ao descrito na figura, porém as aplicações atuais exigem uma visão mais ampla, não estando limitada apenas a uma investigação metalúrgica. Neste caso, a análise de falha esta associada diretamente com a determinação dos modos de falha dos componentes da máquina e as suas causas mais prováveis. Actualmente os grandes fabricantes de equipamentos utilizam métodos de análise de falha para o desenvolvimento dos seus produtos para obter uma garantia na qualidade, confiabilidade e segurança.

| ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **CONDIÇÕES DO PROCESSO** | **DETALHES DO PROJECTO** | **MODO DE FALHA MACROSCÓPICA** | **DETALHES DE FABRICAÇÃO** | **ANALISAR DETRITOS, FRAGMENTOS, RESTO DE LUBRIFICANTE** |
| **OBTER INFORMAÇÕES SOBRE O HISTÓRICO** | | | | |
| **INFORMAÇÕES SOBRE O PROCESSO** | **TESTE DE QUALIDADE DO MATERIAL** | **FUNÇÃO DO COMPONENTE** | **CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO** | **SEQUÊNCIA DOS EVENTOS DE FALHA** |
| **INVESTIGAÇÃO DETALHADA** | | | | |
| **PLANO DE TESTES E AMOSTRAGEM** | **ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS** | **ENSAIOS DESTRUTIVOS** | **TESTES DE SIMULAÇÃO** | |
| **AVALIAR OS RESULTADOS DAS INVESTIGAÇÕES** | | | | |
| **DETERMINAR AS CAUSAS DA FALHA** | | | | |
| **DEFINIR MEDIDAS PARA ELIMINAR AS CAUSAS DA FALHA** | | | | |
| **RELATÓRIO DE ANÁLISE DE FALHA** | | | | |

Figura 61: Passos para a Análise de Falha

Na maioria das vezes a falha da máquina revela uma reação em cadeia, podendo ser analisada através de um **"diagrama causa e efeito"**, também conhecido como **"diagrama espinha de peixe"**, conforme descrito na figura 62. A extremidade da cadeia é uma deficiência de desempenho; comumente denominada sintoma, defeito ou simplesmente **"o problema"**. O trabalho para a solução do problema faz uma retrospectiva para definir os elementos da reação em cadeia e posteriormente identifica uma conexão entre as causas mais prováveis com base na avaliação da falha, estabelecendo causas originais de um problema existente ou em potencial. Na prática, as actividades de análise de falha e solução do problema se intercalam, não existindo uma divisão clara entre as duas.

Entretanto, em muitos casos, a solução do problema é alcançada sem que seja conhecida a sua causa original. Nestes casos ocorrem as deficiências de desempenho sem nenhum modo de falha aparente. O mau funcionamento ou defeitos intermitentes são exemplos típicos desta situação, complicando a análise para os mais experientes solucionadores de problemas. Nestes casos, a solução terá sucesso somente se o investigador conhece o sistema com o nível necessário para a análise. Caso não sejam conhecidos os modos de falha, condições operacionais, detalhes dos componentes e características funcionais os esforços podem ser inúteis.

1. Escreva as **características** do tema em análise dentro de um retângulo na extremidade do lado direito.
2. Desenhe uma **"coluna vertebral"** do lado esquerdo do retângulo e represente uma seta na união da coluna com o retângulo.

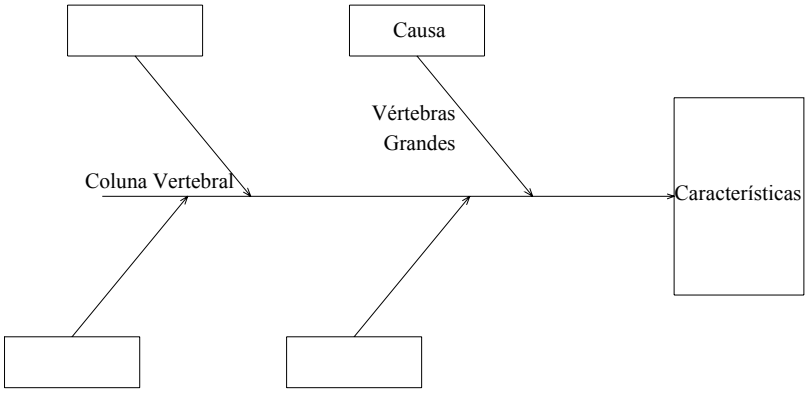
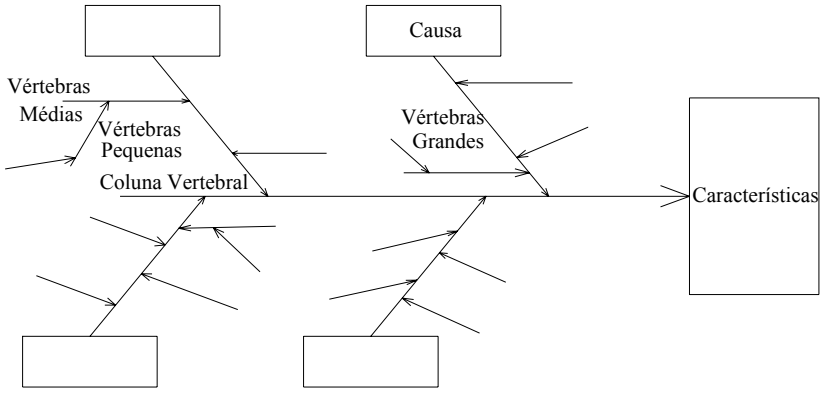



Figura 62: Construção do Diagrama Causa e Efeito (Diagrama Espinha de Peixe)

3. Escreva **as causas** dentro de **retângulos**, em ambos os lados da **"coluna vertebral"**, posteriormente traçar as "vértebras" de união destes retângulos com a coluna.




4. Examinar e encontrar as causas relacionadas com a causa principal e representar **as "vértebras"** médias, pequenas e outras menores sucessivamente.

**Como encontrar e examinar as causas?**

**(1)** Encontre as possíveis causas analisando todas as possibilidades, envolva as pessoas com conhecimento sobre o assunto.
**(2)** Análise minuciosamente todas as causas prováveis.
**(3)** Encontre as causas que tem relação com a característica estudada.

**Como encontrar a causa principal?**

**(1)** Colecta r os dados.
**(2)** Discutir o assunto.
**(3)** Verifique o assunto na prática.
**(4)** Realize outro Diagrama Causa e Efeito.

A análise de falha e a solução do problema têm os seguintes objectivos principais;

1. Prevenir a ocorrência da falha.

2. Garantir segurança, confiabilidade e manutenibilidade da máquina em todas as fases da vida.
   a. *Projecto e especificação do processo;*
   b. *Projecto, fabricação e teste do equipamento original;*
   c. *Transporte e armazenamento;*
   d. *Instalação e comissionamento;*
   e. *Operação e manutenção;*
   f. *Reposição.*

Nesta descrição pode ser observado que a análise de falha e a solução do problema são processos altamente cooperativos. O envolvimento de diferentes actividades, também resulta em objectivos diferenciados, tornando necessária uma actuação uniforme e sistemática para obter o entendimento dos eventos atuantes nos processos de falha dos equipamentos.

### *6.1.1. Causas da Falha das Máquinas:*

De uma maneira simplificada, a falha pode ser definida como sendo uma alteração em um equipamento tornando incapaz de realizar satisfatoriamente a função para a qual foi projetado. O processo de falha normalmente ocorre dentro de uma sequência de fatos, que conduzem até a falha final. Durante a evolução da falha, alguns sintomas podem ser identificados através das técnicas de manutenção.

As principais causas de falha são:

1. *Falha de projecto;*
2. *Defeito de material;*
3. *Deficiência na fabricação ou no processo;*
4. *Defeitos de instalação ou de montagem;*
5. *Condições de serviço inadequadas;*
6. *Deficiências de manutenção;*
7. *Erros de operação.*

A classificação descrita acima é frequentemente utilizada na grande maioria dos estudos das causas de falha das máquinas. Para a avaliação preliminar, os sete itens descritos normalmente devem ser relacionados com a análise da falha e a solução do problema.

Na prática a realização da análise da falha exige uma consideração mais detalhada dos itens descritos. A tabela 5 mostra uma relação mais abrangente dos processos de causa de falha das máquinas. Esta tabela demonstra que as causas da falha estão localizadas em diferentes áreas de responsabilidade. Caso esta distribuição não seja utilizada, os objectivos previamente relacionados da maioria das análises de falha provavelmente não serão alcançados.

As causas da falha usualmente são determinadas pela relação entre um ou mais modos de falha. Esta é a idéia central de qualquer actividade de análise de falha. **O modo de falha (MF)** representa a aparência, maneira ou forma pela qual um componente da máquina ou uma unidade de

produção manifesta uma falha. A tabela 6 relaciona os modos de falha básicos presentes em componentes mecânicos e eléctricos encontrados em indústria siderúrgica.

| | |
|---|---|
| **Responsabilidade da Especificação e do Projecto** | Aplicação |
| | Especificação |
| | Material de Construção |
| | Projecto |
| **Responsabilidade do Fornecedor** | Material de Construção |
| | Projecto |
| | Fabricação |
| | Montagem |
| **Responsabilidade da Transportadora** | Preparação para Transporte |
| | Protecção para Estocagem ou Armazenamento |
| | Transporte |
| **Responsabilidade da Montadora** | Fundações |
| | Tubulações |
| | Montagem |
| **Responsabilidade da Operação e Manutenção** | Choque |
| | Falhas Operacionais |
| | Lubrificação |
| | Ajustagem |
| | Montagem |
| | Manutenção Preventiva |
| **Responsabilidade do Sector de Compras/Oficinas** | Vibrações |
| | Qualidade dos Componentes |
| | Recuperação dos Sobressalentes |

Tabela 5: Definição das Responsabilidades das Causas das Falhas

Na próxima seção, esta relação será ampliada para ser utilizada na análise de falha do dia-a-dia. O modo de falha não deve ser confundido com a causa da falha, inicialmente é o efeito e mais tarde é a causa da ocorrência da falha. O modo de falha pode ser o resultado de uma longa cadeia de causas e efeitos, terminando em uma falha funcional, isto é, um sintoma, defeito ou deficiência operacional de um equipamento.

Outros termos utilizados freqüentemente são **"tipo de defeito"**, **"defeito"** ou **"mecanismo de falha"**. O termo **"mecanismo de falha"** é descrito como sendo o **principal processo metalúrgico, químico ou tribológico de um modo particular de falha.** Por exemplo, o mecanismo de falha é utilizado para descrever a cadeia de causa e efeito para a corrosão de contato **(MF)**, em assentos de rolamento; cavitação **(MF)** em impelidores de bombas; **"pitting"** inicial **(MF)**, na superfície de contato dos dentes das engrenagens, entre outros.

### 6.1.2. Causa Original da Falha:

Nos itens anteriores foi mencionado que um dado evento de falha possui um certo número de causas e efeitos. É necessário identificar uma maneira prática de remover ou modificar os factores contribuintes das causas e efeitos, até conseguir resolver o problema.

Um exemplo ilustrativo deste conceito está na análise da ocorrência do desgaste adesivo severo **(MF)** que constitui em um dos mais frequentes modos de falha das engrenagens. O desgaste adesivo **(MF)** define um mecanismo de falha que ocorre devido ao contato metálico entre as asperezas.

| Modo de Falha | Componentes | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Atuador | Mancal | Cabo | Embreagem | Conector | Acoplamento | Engrenagem | Motor | Potenciômetro | Relé | Solenóide | Circuitos | Taxa Total (%) |
| Corrosão | 7.1 | 18.7 | | | 6.3 | | | 6.3 | 27.5 | 12.3 | 29.2 | 33.1 | 11.52 |
| Deformação | 7.1 | 2.5 | 7.3 | 16.6 | 23.7 | 10.0 | 20.0 | 2.1 | | 0.4 | 3.8 | 0.7 | 8.31 |
| Erosão | | 3.1 | | | | | | | | | | | 0.27 |
| Fadiga | | 4.4 | 2.4 | | 1.7 | | | | | 2.3 | | 3.1 | 1.23 |
| Atrito | 21.4 | 10.6 | | | | | | 1.5 | | 2.6 | | | 3.19 |
| Oxidação | | | | | | | | | | | | 5.5 | 0.49 |
| Curto Circuito | | | 26.8 | | 1.6 | | | 12.3 | 10.0 | 12.3 | 23.1 | 3.4 | 7.9 |
| Trinca | | 0.5 | | | | | | | | | | | 0.04 |
| Abrasão | 14.3 | 60.2 | 22 | 83.4 | 8.1 | 45.0 | 60.0 | 25.1 | 25.0 | 5.4 | 27.0 | 12.1 | 34.23 |
| Quebra | 7.1 | | 19.5 | | 47.1 | 20.0 | 20.0 | 4.6 | 15.0 | 17.5 | 15.4 | 24.8 | 16.86 |
| Outros | 43.0 | | 22.0 | | 11.5 | 25.0 | | 22.0 | 22.5 | 11.9 | 11.5 | 17.3 | 15.96 |

Tabela 6: Modos de Falha Típicos para Componentes Mecânicos e Eléctricos em Siderúrgica

microscópicas de duas peças durante a pressão de contato. A micro adesão destas superfícies é seguida de uma ruptura da junção e posterior remoção de partículas pelo impacto com uma

rugosidade mais resistente. O desgaste adesivo não ocorre quando existe uma espessura suficiente de filme de óleo entre os contatos das engrenagens. Esta frase mostra um indício da causa original. Então, qual é a causa original? O desgaste adesivo severo pode ocorrer repentinamente, em contraste com um outro modo de falha que é o **"pitting"** (crateras) que depende do tempo de funcionamento. Portanto, não pode ser atribuída a causa original para o projecto do sistema de lubrificação ou para o óleo lubrificante, pois o desgaste adesivo severo não foi observado anteriormente naquele par de engrenagens. A perda repentina e intermitente da lubrificação pode ser a causa. Esta é a causa original? Não, precisa ser encontrado o fator que removido ou eliminado, irá prevenir a progressão do desgaste adesivo severo **(scuffing)**. Neste equipamento, periodicamente a bomba de óleo reserva é testada, provocando uma repentina e momentânea perda de pressão? Eventualmente. Neste caso foi encontrado o ponto no qual uma mudança de projecto, operação ou manutenção irá interromper o desgaste adesivo severo nos dentes da engrenagem.

A eliminação da causa original das falhas das máquinas pode ocorrer no projecto, operação ou manutenção. Na maioria das vezes, a manutenção exerce maior actuação na análise e prevenção das falhas. Porém, uma grande redução dos tipos de falhas poderia ser obtida durante as fases de especificação e projecto. Para determinadas situações, somente a modificação do projecto permite a obtenção dos resultados esperados.

### 6.1.3. Conceitos Básicos de Análise do Modo e Efeito da Falha:

**A Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA)** é aplicada para cada sistema, sub-sistema e componentes identificados em uma instalação. Para cada função podem sem identificados múltiplos modos de falha. O **FMEA** identifica cada função do sistema, e associa o modo de falha dominante com cada falha e posteriormente examina as consequências da falha. Qual o efeito que a falha provoca na finalidade ou operação do sistema e das máquinas?

Na maioria das vezes serão encontrados muitos modos de falha, freqüentemente os efeitos da falha são os mesmos ou muito similar. Portanto, sob o ponto de vista da função do sistema, a consequências da falha será a degradação da função.

Os sistemas e máquinas semelhantes normalmente possuem modos de falhas semelhantes. Entretanto, o uso do sistema irá determinar as consequências da falha. Por exemplo, o modo de falha de uma esfera de rolamento será o mesmo para a maioria das máquinas. Entretanto, o modo de falha dominante será freqüentemente diferente de uma máquina para outra, a causa da falha pode ser diferente e o efeito da falha também nem sempre será o mesmo. A elaboração de uma planilha de identificação **FMEA** depende da definição de dois novos conceitos: **Criticidade e Probabilidade de Ocorrência da Falha.**

#### *6.1.3.1. Criticidade e Probabilidade de Ocorrência:*

A Criticidade estabelece um meio de quantificar o nível de importância de uma determinada função do sistema em relação à garantia operacional. A tabela 7 estabelece o critério de classificação adotado para definir a criticidade de um sistema. Esta classificação é adotada originalmente pela indústria automotiva, possuindo 10 categorias de **Criticidade/Severidade.** Esta classificação pode ser adaptada de acordo com as condições específicas do sistema analisado.

A Probabilidade de Ocorrência de Falha é também baseada nos trabalhos da indústria automotiva. A tabela 8 apresenta um possível método para quantificar a probabilidade de falha. Caso existam dados históricos para o processo específico os valores devem ser adequados conforme

a tabela seguinte. O número de classificações pode ser diferente. Os valores estatísticos podem ser expressos em horas, dias, ciclos ou conforme outra forma mais adequada de tempo.

| Classificação | Efeito | Observações |
|---|---|---|
| 1 | Nenhum | A falha não afeta a segurança, meio ambiente, vidas ou operação do sistema |
| 2 | Muito Baixo | Pequena influência para a função. O reparo da falha pode ser efectuado durante a sua identificação sem afetar a operação. |
| 3 | Baixo | Pequena influência para a função. O reparo pode ser programado porém não afeta a operação do sistema, |
| 4 | Baixo ou Moderado | Moderada influência para a função. Parte do processo sofre influência da falha, porém pode ser recuperado o prejuízo. |
| 5 | Moderado | Moderada influência para a função. Todo o processo operacional é interrompido, porém pode ser recuperado o prejuízo. |
| 6 | Moderado ou Alto | Moderada influência para a função. Parte do processo é perdido. O prejuízo não é recuperado. |
| 7 | Alto | Alta influência para a função. Parte do processo é perdido. O tempo de reparo é elevado, com prejuízos operacionais. |
| 8 | Muito Alto | Alta influência para a função.Todo processo operacional é paralisado. O tempo de reparo é elevado, com elevados prejuízos. |
| 9 | Insuportável | Risco de Segurança, Vidas e Meio Ambiente. A falha ocorre com alarme. |
| 10 | Insuportável | Risco de Segurança, Vidas e Meio Ambiente. A falha ocorre sem qualquer tipo de alarme. |

Tabela 7: Categorias de Criticidade/Severidade

| Classificação | Efeito | Observações |
|---|---|---|
| 1 | 1/10.000 | A Probabilidade de ocorrência é remota. Nenhuma expectativa de ocorrência da falha. |
| 2 | 1/5.000 | Baixa taxa de falha. Similares às ocorrências anteriores, a taxa de falhas é baixa em relação às condições operacionais. |
| 3 | 1/2.000 | Baixa taxa de falha. Similares às ocorrências anteriores, a taxa de falhas é baixa em relação às condições operacionais. |
| 4 | 1/1.000 | Taxa de falha ocasional. Similares às ocorrências anteriores, a taxa de falhas é constante em relação às condições operacionais. |
| 5 | 1/500 | Taxa de falha moderada. Similares às ocorrências anteriores, a taxa de falhas é moderada em relação às condições operacionais. |
| 6 | 1/200 | Taxa de falha moderada. Similares às ocorrências anteriores, a taxa de falhas é moderada em relação às condições operacionais. |
| 7 | 1/100 | Taxa de falhas elevada. Similar às ocorrências anteriores, a taxa de falha é elevada e causa problemas. |
| 8 | 1/50 | Taxa de falhas elevada. Similar às ocorrências anteriores, a taxa de falha é elevada e causa problemas. |
| 9 | 1/20 | Taxa de falha muita elevada. Frequentemente causa problemas. |

| | | |
|---|---|---|
| **10** | **1/10+** | Taxa de falha muito elevada. Frequentemente causa problemas. |

Tabela 8: Categorias de Probabilidade de Ocorrência de Falhas

### *6.1.3.2. Identificação das Causas de Falhas:*

Quando a função e o modo de falha são compreendidos, será necessário determinar as causas de falha. Quando não são conhecidas as causas dos modos de falhas potenciais não é possível escolher e aplicar o método de manutenção adequado. Por exemplo, as informações necessárias para um sistema de água gelada são apresentadas na tabela 9. Nesta tabela são identificadas as funções do sistema, as possíveis falhas funcionais, modos de flah e origem da falha.

Posteriormente cada elemento que acarreta um modo de falha para o sistema de água gelada deve ser analisado de forma semelhante ao apresentado na tabela 10. Neste caso são analisados mais detalhes da construção do equipamento, identificando modos de falha e respectivas origens.

A tabela 11 analisa um único modo de falha, que corresponde à quebra do rolamento, Informações similares devem ser obtidas para cada modo de falha. Esta informação deve ser exaustivamente analisada para obter todos factores que influenciam no modo de falha do componente. Este exemplo apresentado é bastante simples, os casos reais podem resultar em um número muito maior de dados para estabelecer uma condição confiável para implementação do programa de manutenção.

Este tipo de análise é recomendada quando é necessária uma avaliação mais detalhada de problemas de maior importância estratégica, ou então para estabelecer procedimentos de manutenção para grupos de equipamentos através de uma metodologia que possa ser padronizada dentro de uma indústria. A obtenção destes procedimentos exige a participação de pessoas com conhecimentos específicos do funcionamento do equipamento analisado e das respectivas necessidades de manutenção.

As situações de análise de falhas mais comuns podem ser avaliadas com métodos simplificados, como por exemplo o diagrama de causa e efeito. Porém, devem ser tomados os cuidados para identificação e eliminação da causa original.

| Função | Falha Funcional | Modo de Falha | Origem da Falha |
|---|---|---|---|
| Fornecer água gelada dentro das especificações de Vazão e Temperatura. | **Perda Total de Vazão** | **Falha do Motor Eléctrico** | Ver tabela 10. |
| | | **Falha da Bomba** | |
| | | **Vazamento** | |
| | | **Entupimento de Tubo** | |
| | | **Falha de Válvula** | |
| A Vazão e Temperatura devem estar de acordo com as condições especificadas. Por exemplo, se o sistema de água gelada estiver abastecendo uma sala de computadores, qual deve ser a faixa de vazão e temperatura da água para manter a temperatura da | **Vazão Insuficiente** | **Cavitação da Bomba** | |
| | | **Problema no Acionamento** | |
| | | **Entupimento de Tubo** | |
| | | **Válvula fora de posição** | |
| | | **Erro de Instrumento** | |
| | **Temperatura da Água Alta ou Baixa** | **Falha da Centrifuga** | |
| | | **Falta de Refrigerante** | |
| | | **Problema na Torre de Resfriamento** | |
| | | **Válvula fora de posição** | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| sala? | | **Falha do Trocador de Calor** | |
| | | **Erro de Instrumentação** | |

Tabela 9: Análise do Sistema de Água Gelada

| Função | Falha Funcional | Modo de Falha | Origem da Falha |
|---|---|---|---|
| **Estator** | Motor não funciona | **Falha de Isolação**<br>**Rompimento de Bobina** | Isolação, contaminação, corrente elevada, oscilação de tensão, desbalanceamento de fase, temperatura excessiva. |
| **Rotor** | Motor não funciona<br>Motor não gira na rotação correcta | **Falha de Isolação** | Contaminação do Isolamento, corrente elevada , temperatura elevada, desbalanceamento mecânico. |
| **Rolamentos** | Motor não funciona | **Rolamento danificado** | Fadiga, falha de lubrificação, desalinhamento, desbalanceamento mecânico, passagem de corrente elétrica, contaminação do lubrificante, esforço axial elevado, temperatura elevada |
| **Controle do Motor** | Motor não funciona<br>Motor não gira na rotação correcta | **Falha de contato**<br>**Falha do inversor de Frequência** | Falha no contato, falha do circuito de controle, falha no cabo, perda de potência. |
| **Alimentação Elétrica** | Motor não funciona | **Perda de Potência** | Falha de alimentação, corrente elevada, torque elevado, conexão ruim,. |

Tabela 10: Análise dos Componentes do Motor Eléctrico

| Modo de Falha | Mecanismo | Ocorrência | Causa |
|---|---|---|---|
| Rolamento danificado (incluindo vedações, proteções, sistema de lubrificação e fixações) | **Lubrificação** | **Contaminação** | Falha de vedação |
| | | | Sujeira no abastecimento |
| | | **Tipo errado** | Falha de especificação |
| | | | Procedimento incorreto |
| | | **Deficiência** | Vazamento |
| | | | Procedimento incorreto |
| | | **Excesso** | Procedimento incorreto |
| | **Fadiga** | **Material** | Inerente |
| | | | Temperatura excessiva |
| | | **Carga Elevada** | Desbalanceamento |
| | | | Desalinhamento |
| | | | Dimensionamento |
| | | | Ajuste |
| | **Descascamento da superfície de contato** | **Instalação** | Procedimento incorreto |
| | | **Fornecimento** | Procedimento incorreto |
| | | **Eléctrico** | Isolação |
| | | | Solda |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | **Contaminação** | Ver lubrificação |

Tabela 11: Causas de Falha do Rolamento do Motor

| Item | Componente | Item a Inspecionar | Frequência | Parecer/Padrão |
|---|---|---|---|---|
| Sistema de Levantamento Principal | Cabo de Aço | **1. Qualidade do cabo de aço.** | Mensal | Verificar se atende especificação |
| | | **2. Desgaste e abrasão do cabo.** | Semanal | a) Desgaste<br>b) Cabos com mais de 10% de fios quebrados em uma perna.<br>c) Cabo dobrado<br>d) Cabo com deformação excessiva e corrosão<br>e) Redução do diâmetro original acima de 7%. |
| | | **3. Fixação dos cabos de aço.** | Semanal | Solto. |
| | | **4. Corrosão** | Mensal | |
| | | **5. Desgaste do cabo na polia equalizadora** | Mensal | Desgaste e ruptura |
| | Polia (Roldanas) | **1. Rotação da polia.** | Semanal | a) Rotação suave.<br>b) Interferência com a capa da polia. |
| | | **2. Lubrificação do eixo da polia.** | Semanal | Quebra ou remoção da tubulação. |
| | | **3. Desgaste da ranhura da polia.** | Mensal | Até 30% do diâmetro do cabo. |
| | Tambor | **1. Desgaste da ranhura do tambor.** | Mensal | |
| | | **2. Trinca na solda.** | Mensal | |
| | | **3. Número de voltas de retenção na posição mais baixa.** | Mensal | Duas voltas no mínimo. |
| | | **4. Grampo do cabo.** | Semanal | Solto. |
| | | **5. Lubrificação do "spline" (cubo)** | Semanal | Disponível ou não. |
| | Engrenagem Motriz | **1. Ruído, calor e vibração.** | Semanal | Ruído anormal, calor e vibração. |
| | | **2. Acoplamento** | Mensal | Folgado ou justo. |
| | | **3. Desgaste** | Mensal | Até 10% da dimensão original para a engrenagem primeiro estágio.<br>Até 20% da dimensão original para as dem engrenagens. |
| | | **4. Lubrificação** | Mensal | a) Circulação de óleo na janela de inspeção.<br>b) Presença de óleo nos dentes da engrenagem. |
| Item | Componente | Item a Inspecionar | Frequência | Parecer/Padrão |
| Translação do Carro | Roda de Translação | **1. Som.** | Mensal | Ruído estranho. |
| | | **2. Desgaste do flange da roda.** | Mensal | Até 50% da espessura original do flange. |
| | | **3. Desgaste localizado da banda de rodagem.** | Mensal | Desgaste excessivo. |
| | | **4. Desgaste da banda de rodagem.** | Semestral | Até 3% do diâmetro original. |
| | | **5. Diferença de diâmetro entre as rodas de dois trilhos.** | Semestral | Até 0,2% do diâmetro para a roda motriz |
| | Acoplamento Elastômero | **1. Alinhamento.** | Mensal | Desalinhamento |
| | | **2. Anel de borracha.** | Mensal | Ruptura |
| | Acoplamento Engrenagem | **1. Lubrificação à graxa** | Mensal | Disponível ou não. |
| | | **2. Alinhamento.** | Mensal | Desalinhamento. |
| | Engrenagem Motriz | **1. Ruído, calor e vibração.** | Semanal | Ruído anormal, calor e vibração. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **2. Acoplamento** | Mensal | Folgado ou justo. |
| | | **3. Desgaste** | Mensal | Até 10% da dimensão original para a engrenagem primeiro estágio.<br>Até 30% da dimensão original para as dem engrenagens. |
| | | **4. Lubrificação** | Mensal | a) Circulação de óleo na janela de inspeção.<br>b) Presença de óleo nos dentes da engrenagem. |
| | | **5. Chaveta e rasgo de chaveta** | Mensal | a) Chaveta solta.<br>b) Deformação do rasgo de chaveta. |
| | | **6. Rolamento** | Mensal | a) Superaquecimento.<br>b) Cavaco no óleo.<br>c) Quebra do rolamento ou trinca.<br>d) Parafusos da caixa de engrenagens soltos.<br>e) Qualidade e quantidade de óleo. |
| | Polia de Freio e Freio (Todos) | **1. Desgaste da lona** | Mensal | Até 50% da espessura original. |
| | | **2. Trinca na polia** | Mensal | Trinca ou quebra. |
| | | **3. Desgaste da polia** | Mensal | Até 40% da espessura original do aro. |
| **Item** | Componente | **Item a Inspecionar** | Frequência | Parecer/Padrão |
| **Translação da Ponte** | Roda de Translação | **1. Som.** | Mensal | Ruído estranho. |
| | | **2. Desgaste do flange da roda.** | Mensal | Até 50% da espessura original do flange. |
| | | **3. Desgaste localizado da banda de rodagem.** | Mensal | Desgaste excessivo. |
| | | **4. Desgaste da banda de rodagem.** | Semestral | Até 3% do diâmetro original. |
| | | **5. Diferença de diâmetro entre as rodas de dois trilhos.** | Semestral | Até 0,2% do diâmetro para a roda motriz |
| | Acoplamento Elastômero | **1. Alinhamento.** | Mensal | Desalinhamento |
| | | **2. Anel de borracha.** | Mensal | Ruptura |
| | Acoplamento Engrenagem | **1. Lubrificação à graxa** | Mensal | Disponível ou não. |
| | | **2. Alinhamento.** | Mensal | Desalinhamento. |
| | Engrenagem Motriz | **1. Ruído, calor e vibração.** | Semanal | Ruído anormal, calor e vibração. |
| | | **2. Acoplamento** | Mensal | Folgado ou justo. |
| | | **3. Desgaste** | Mensal | Até 10% da dimensão original para a engrenagem primeiro estágio.<br>Até 30% da dimensão original para as demais engrenagens. |
| | | **4. Lubrificação** | Mensal | a) Circulação de óleo na janela de inspeção.<br>b) Presença de óleo nos dentes da engrenagem. |
| | | **5. Chaveta e rasgo de chaveta** | Mensal | a) Chaveta solta.<br>b) Deformação do rasgo de chaveta. |
| | | **6. Rolamento** | Mensal | a) Superaquecimento.<br>b) Cavaco no óleo.<br>c) Quebra do rolamento ou trinca.<br>d) Parafusos da caixa de engrenagens soltos.<br>e) Qualidade e quantidade de óleo. |
| | Eixo Flutuante | **1. Trinca** | Mensal | |
| | | **2. Vibração** | Semanal | Acima do normal. |
| **Item** | Componente | **Item a Inspecionar** | Frequência | Parecer/Padrão |
| **B a** | Gancho | **1. Desgaste da bucha** | Mensal | Até 10% do raio original |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Lamelar | **2. Metal da bucha do mancal** | Semestral | Limite de desgaste (em milímetros)<br>0,6 para diâmetro de 25 – 40<br>0,8 para diâmetro de 41 – 63<br>1,0 para diâmetro de 63 – 100<br>1,2 para diâmetro de 100 – 160<br>1,6 para diâmetro de 160 – 250 |
| | | **3. Solda** | Mensal | Trinca na solda. |
| | | **4. Deformação e desgaste do gancho** | Mensal | Até 20% da dimensão original. |
| | Gancho de Garra | **1. Deformação e desgaste do gancho** | Mensal | Até 20% da dimensão original. |
| | Garfo e Pino | **1. Lubrificação** | Semanal | Quebra da tubulação. |
| | | **2. Desgaste bucha do mancal** | Semestral | Idem metal do mancal do gancho. |
| | Estrutura da trave | **Solda** | Mensal | Trinca na solda. |
| | Polia | **1. Rotação da polia.** | Semanal | a) Rotação suave.<br>b) Interferência com a capa da polia. |
| | | **2. Lubrificação do eixo da polia.** | Semanal | Ruptura ou remoção da tubulação. |
| | | **3. Desgaste da ranhura da polia.** | Mensal | Até 30% do diâmetro do cabo. |
| | Ponta do Cabo | **Fixação.** | Mensal | Solto. |
| | Trilho de guia do mastro | **Solda.** | Mensal | Trinca na solda. |
| | Rolo de guia | **Folga entre rolo e o trilho guia** | Mensal | Folga total de até 10 mm. |
| | | **Rolamento** | Mensal | Desgaste do rolamento. |
| | Pinças Motorizadas e eletroimãs | **Conforme manual de manutenção do fabricante.** | | |
| **Item** | Componente | **Item a Inspecionar** | Frequência | Parecer/Padrão |
| **Ponte** | Estrutura da ponte | **1. Deformação.** | Mensal | Deformação ou trinca. |
| | | **2. Solda** | Mensal | Trinca na solda. |
| | | **3. Parafusos soltos (inclusive parafusos de fricção).** | Mensal | Solto |
| | | **4. Corrosão e pintura.** | Anual | Corroído. |
| | | **5. Deflexão da trave.** | Anual | Até 1/800 do vão da trave quando o carro, com carga nominal, esta no centro do vão. |
| | | **6. Placas com indicação da carga nominal** | Anual | Existência |
| | Trilho do carro | **1. Parafusos de fixação.** | Mensal | Solto |
| | | **2. Solda.** | Mensal | Trinca na solda. |
| | | **3. Batentes** | Mensal | Avaria do para choque. |
| | | **4. Vão do carro.** | Anual | |
| | | **5. Retidão do trilho** | Anual | |
| | | **6. Largura do topo do trilho.** | Anual | Até 10% da largura original. |
| | Estrutura do Carro | **1. Deformação** | Mensal | Deformação ou trinca. |
| | | **2. Solda** | Mensal | Trinca na solda. |
| | | **3. Aperto de parafusos.** | Mensal | Solto. |
| | | **4. Corrosão e pintura** | Anual | Corrosão. |
| | Escadas, degraus, corrimão | **1. Estrutura.** | Mensal | Solta. |
| | | **2. Iluminação.** | Mensal | Se funciona ou não. |
| | Para-choque | **1. Óleo** | Mensal | Vazamento de óleo. |
| | | **2. Montagem do Suporte** | Mensal | Parafusos soltos. |
| | Equalizador | **1. Deformação** | Mensal | Deformação ou trinca. |
| | | **2. Solda** | Mensal | Trinca na solda. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **3. Montagem do pino equalizador** | Mensal | Parafusos soltos. |
| | | **4. Lubrificação** | Semanal | Quebra da tubulação. |
| | Cabine de operação. | **1. Estrutura** | Mensal | Pintura e corrosão. |
| | | **2. Fixação dos componentes.** | Mensal | Parafusos soltos |
| | | **3. Ventilação/Ar condicionado.** | Diário | Funcionamento. |
| | | **4. Isolamento Térmico/Acústico** | Semanal | Estado de conservação. |
| **Item** | **Componente** | **Item a Inspecionar** | **Frequência** | **Parecer/Padrão** |
| **Moitão** | Gancho forjado | **1. Deformação e desgaste do gancho.** | Mensal | Até 20% da dimensão original. |
| | | **2. Trinca no gancho.** | Mensal | Existe ou não. |
| | | **3. Rotação do gancho.** | Mensal | Livre ou não |
| | Polia | **1. Rotação da polia.** | Semanal | a) Rotação da polia.<br>b) Interferência com a capa da polia. |
| | | **2. Lubrificação do eixo da polia.** | Semanal | Ruptura ou remoção da tubulação. |
| | | **3. Desgaste da ranhura da polia.** | Mensal | Até 30% do diâmetro do cabo. |

Tabela 12: Programa de inspeção para ponte rolante

## 7. BIBLIOGRAFIA

[1] AMARAL, A.L.O., **Análise de Falhas e Solução de Problemas.** Ed. QualyMark (2002).

[2] Bloch, H.P., **Improving Machinery Reliability**, *Gulf Publishing Co*. (1998).

[3] Bloch, H.P., Geitner, F. K., **Machinery Component Maintenance and Repair**, *Gulf Publishing Co*. (1998).

[4] Bloch, H.P., Geitner, F. K., **Machinery Failure Analysis and Troubleshooting**, *Gulf Publishing Company*. (1985).

[5] Bloch, H.P., Geitner, F. K., **Major Process Equipment Maintenance and Repair**, *Gulf Publishing Company*. (1985).

[6] Campos, V. F., **Gerência de Qualidade Total** (1997).

[7] Colombo, G., **Manuel de l' Ingenieur.** Ed. Béranger. (1913).

[8] DA Silva, J. A. F. **Técnicas de Segurança Industrial**, Ed.Hemus. (1990).

[9] Davis, M. M., Aquilano, N.J., Chase, R.B., **Fundamentos da Administração da Produç, R.B.,**

[19] Trabalhos Técnicos Publicados e/ou Apresentados em **Seminários de Manutenção.** Publishing Company, 1985.